

4979/ITS/H/93. ✓

PERPUSTAKAAN	
I T	
24 NOV 1992	#
433 / TA	

TL. 1701 TUGAS AKHIR

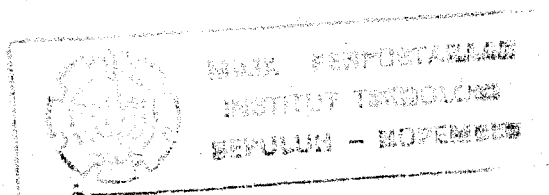
TEKNIK PENGUJIAN TIDAK MERUSAK (NDT)
PADA FABRIKASI FIXED OFFSHORE STRUCTURE



PSK
620.112.7
Pri
f-2
1999

OLEH :
YUDIK TOTOK PRIYANTO
4854300060

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER



ABSTRAK

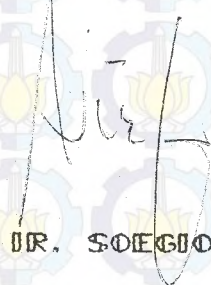
Lima macam teknik pengujian tidak merusak dipelajari dalam studi ini. Dimulai dari pengujian amatan, pengujian radiografi, pengujian ultrasonik, pengujian serbuk magnet dan pengujian penembusan zat warna, yang kesemuanya sering digunakan dalam fabrikasi fixed offshore structure. Kemudian diperoleh suatu rangkuman yang menggambarkan karakteristik masing-masing teknik pengujian tersebut. Karakteristik yang dimaksud berhubungan erat dengan kemampuan tiap-tiap pengujian tidak merusak dalam mendeteksi suatu sambungan konstruksi yang dilakukan dengan pengelasan.

Pembahasan mengenai penggunaan pengujian tidak merusak dalam fabrikasi fixed offshore structure, ditekankan dalam klasifikasi jenis sambungan yang harus dideteksi dengan pengujian tidak merusak serta prosentase daerah yang harus diuji sesuai dengan rules yang berlaku.

LEMBAR PENGESAHAN

Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing

a/n



DR. SOEGIONO

2/02/1990



FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

PROGRAM STUDI TEKNIK LAUTAN

TUGAS - AKHIR .

No. : 20/PT12.H4.FTK/M/89

MATA KULIAH : TUGAS AKHIR 8 (delapan) SKS
NOMOR MATA KULIAH : TL.1701
NAMA MAHASISWA : Yudik Totok P
NOMOR POKOK : 4854300060
TANGGAL DIBERIKAN TUGAS : 15 Oktober 1989
TANGGAL SELESAI TUGAS : 15 Januari 1990
DOSEN PEMBIMBING : Ir. Soegiono
.....

TEMA/URAIAN/DATA-DATA YANG DIBERIKAN :

Judul : TEKNIK PENGUJIAN TIDAK MERUSAK (NDT) PADA FABRIKASI FIXED OFFSHORE STRUCTURE.

SURABAYA, ..28 Oktober 1989....

DIBUAT RANGKAP 4 :

1. Mahasiswa ybs.
2. Dekan (mohon dibuatkan SK).
3. Dosen Pembimbing.
4. Arsip Kajar.

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS
PROGRAM STUDI TEKNIK LAUTAN



f Suroso

31969.-

Laut

Di seberang sana kau tampak begitu cerah
begitu indah.....tetapi.....

Kadang kau terlalu angkuh

Kau hempaskan semua yang ada di sekelilingmu

Kau karamkan semuanya,.....dan

Kau telan hingga sirna.....tetapi

Kadang kau terlalu acuh

Kau hanya diam

Kau biarkan semua aktifitas berjalan

Kau pandang lawan-lawanmu tanpa kau beri reaksi

Laut.....

Aku tak ingin hal diatas terjadi

Aku tak ingin kau berbuat seenaknya

Karena aku ingin bersahabat denganmu

Aku ingin berjalan seiring bersamamu

Damai setiap saat dan selamanya

Aku ingin bergelut dan mandi keringat bersamamu.....

...untuk menghasilkan tetes-tetes minyak yang sangat
didambakan oleh bangsa dan negara

Lautku.....ingat.....utang luar negeri semakin menumpuk

harga BBM diancam melonjak.....tersenyumlah kau dan

diantara senyum manismu pancarkan semua sumber minyakmu

Untuk Bapakku, Ibuku, Dosenku,

Kekasihku, Saudara-saudaraku,

Rekan-rekanku, ... yang telah

menggumpalkan semangatku

sehingga aku bisa melangkah

dengan tegar dan mantap.

Kuungkapkan rasa baktiku,

hormatku, kasih sayangku,

bersahabatku melalui hasil

karya ini.

KATA PENGANTAR

Pemahaman terhadap ilmu pengetahuan adalah salah satu langkah positif menuju tercapainya keahlian di bidang tersebut. Ketekunan, kreatifitas, kegigihan dan sportifitas yang tinggi merupakan sikap yang sangat mendukung tujuan di atas. Untuk itu dengan menggunakan penalaran yang dimiliki, penulis mencoba mendapatkan suatu pengertian yang lebih mendalam tentang Teknik Pengujian Tidak Merusak (NDT) pada Fabrikasi Fixed Offshore Structure.

Apa yang dilakukan penulis hanya berupa sayatan kecil dari suatu cabang ilmu pengetahuan yang begitu luas dan kokoh. Dengan segala keterbatasan dan kemampuan yang ada akhirnya terwujudlah tulisan ini sebagai rasa partisipasi terhadap pengkajian suatu metode, yang banyak diaplikasikan untuk keperluan produksi industri. Tentunya kritik dan saran pembaca sangat diharapkan agar hasil yang diraih bisa lebih baik dan sempurna.

Sudah semestinya penulis mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT karena semua hanya bisa berjalan berkat karunia dan hidayah-Nya. Di samping itu dalam penyelesaian tulisan ini banyak bimbingan, bantuan dan kerjasama yang diberikan oleh pihak-pihak tertentu. Oleh karenanya tidak berlebihan bila penulis mengucapkan terima kasih kepada :

- Bapak Ir. Soegiono selaku Dekan Fakultas Teknologi Kelautan ITS dan Dosen Pembimbing yang banyak memberikan pengarahan demi selesainya tugas ini.
- Bapak Ir. Arief Suroso M.sc sebagai Sekretaris Jurusan Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS yang telah memperlancar penyelesaian penulisan.
- Bapak Ir. Soeweify M.Eng yang banyak memberikan pertimbangan terhadap penyelesaian masalah yang diajukan penulis.

- Bapak Soekardjo sebagai surveyor pengujian tidak merusak dari BKI yang telah meluangkan waktunya untuk memperagakan teknik-teknik pengujian tidak merusak sesuai dengan permohonan penulis.
- Ir. Sugeng Riyono dan Ir. Abdul Gofar sebagai surveyor BKI yang dengan sukarela memberikan bahan-bahan dan pengarahan yang sangat diperlukan penulis.
- Naharadam W. dan rekan-rekan lain yang banyak membantu demi selesainya tulisan ini.

Akhir kata semoga tulisan ini bermanfaat bagi segenap pembaca dan selamat berjuang menerobos wahana ilmu pengetahuan yang selalu menjanjikan perbaikan dan kemajuan taraf hidup umat.

Penyusun

YTP

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Metode Penulisan	3
 BAB II TEKNIK PENGUJIAN TIDAK MERUSAK	 4
2.1 Pengujian Amatan	4
2.1.1 Peralatan	4
2.1.2 Sebelum Pengelasan	5
2.1.3 Selama Pengelasan	6
2.1.4 Setelah Pengelasan	7
2.2 Pengujian Radiografi	10
2.2.1 Sumber Radiasi untuk Radiografi	12
2.2.2 Interaksi dengan Materi	15
2.2.3 Film Radiografi	18
2.2.4 Kualitas Hasil Radiografi	21
2.2.5 Cara Mengurangi Hamburan	28
2.2.6 Membaca Sensitivitas Hasil Radiografi	31
2.2.7 Teknik Set Up	32
2.2.8 Diskontinuitas pada Sambungan Pengelasan	41
2.3 Pengujian Ultrasonik	45
2.3.1 Getaran Ultrasonik	45
2.3.2 Metode Pengukuran	48
2.3.3 Probe	50

2.3.4	Hubungan antara Macam Cacat dengan Informasi dari Presentasi Cacat	52
2.3.5	Couplant dalam Ultrasonik	54
2.3.6	Teknik Kalibrasi	54
2.3.7	Pengukuran dengan Normal Probe	58
2.3.8	Pengukuran dengan Probe Sudut	62
2.3.9	Teknik Pemeriksaan Las	64
2.3.10	Evaluasi Diskontinuitas Pengelasan	67
2.4	Pengujian dengan Serbuk Magnet	71
2.4.1	Prinsip Dasar	71
2.4.2	Teknik Inspeksi dengan Serbuk Magnet	75
2.4.3	Indikasi Diskontinuitas	76
2.5	Pengujian dengan Penembusan Zat Warna	78
2.5.1	Prinsip Dasar	78
2.5.2	Proses Uji	80
2.5.3	Penafsiran Indikasi	85
2.5.4	Evaluasi Indikasi	86

BAB III PENGGUNAAN PENGUJIAN TIDAK MERUSAK PADA FABRIKASI FIXED OFFSHORE STRUCTURE

3.1	Pengujian Tidak Merusak dalam Fabrikasi	87
3.2	Prosentase Penggunaan Beberapa Pengujian Tidak Merusak pada Fabrikasi Fixed Offshore Structure	88
3.2.1	Struktur Pengelasan Khusus (Spesial)	89
3.2.2	Struktur Pengelasan Utama (Primer)	90
3.2.3	Struktur Pengelasan Bukan Utama (Sekunder)	90
3.3	Standar Penerimaan (Standart of acceptability)	91

BAB IV KESIMPULAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

No.	Nama Gambar	hal
2.1	Tipe peralatan pengukur las-lasan	5
2.2	Contoh standar ketepatan pengelasan untuk pengelasan dengan groove (atas) dan fillet (bawah)	8
2.3	Diskontinuitas yang bisa dideteksi dengan pengujian amatan	9
2.4	Konsep pengujian radiografi	11
2.5	Konstruksi tabung sinar X	12
2.6	Kontener tipe 1 (atas) dan tipe 2 (bawah)	15
2.7	Intensitas sinar X atau γ sebelum dan sesudah menembus material	17
2.8	Struktur film radiografi	18
2.9	Teknik pemrosesan	21
2.10	Hasil radiografi	22
2.11	Hasil radiografi yang berbeda kekontrasannya pada ketebalan yang berbeda tapi energi radiasi sama	22
2.12	Hasil radiografi dengan definisi kurang (kiri) dan definisi baik (kanan)	23
2.13	Pengukuran penumbra	24
2.14	Sudut sinar hamburan	25
2.15	Hamburan pada benda yang diperiksa	25
2.16	Pengaruh hamburan terhadap definisi hasil radiografi ..	26
2.17	Akibat hamburan samping pada hasil radiografi	27
2.18	Pengaruh radiasi hamburan yang datang pada bagian belakang benda yang diperiksa	27
2.19	Penampang kaset yang berisi screen dan film	28
2.20	Masking dan kegunaannya	29
2.21	Bentuk-bentuk kolimator	30
2.22	Cara melakukan shot pada pekerjaan radiografi	31
2.23	Letak penetrameter yang memenuhi syarat umum	36
2.24	Arah sinar radiasi pada sebuah plat	38
2.25	Pengujian radiografi pada pipa dengan penetrasi tunggal	39

2.26 Pengujian radiografi pada pipa dengan penetrasi ganda	40
2.27 Slag memanjang pada pengelasan	42
2.28 Porositas pada weld metal	42
2.29 Crack melintang dalam pengelasan	43
2.30 Crack memanjang pada daerah terpengaruh panas	43
2.31 Incomplete penetration dalam pengelasan	44
2.32 Undercut pada akar las	44
2.33 Getaran longitudinal	46
2.34 Getaran transversal	47
2.35 Sumber getaran ultrasonik	47
2.36 Geometri getaran ultrasonik yang keluar dari probe ...	48
2.37 Metode transmisi	49
2.38 Metode gema	49
2.39 Probe normal	50
2.40 Dasar transmisi sudut dari hukum snellius	51
2.41 Probe TR	52
2.42 Layar CRT	52
2.43 B-Scan	53
2.44 C-Scan	53
2.45 Kalibrasi probe normal dengan blok standar V_1	54
2.46 Penunjukan pada layar CRT dari kalibrasi probe normal dengan blok standar V_1	55
2.47 Posisi probe sudut terhadap blok standar V_1	55
2.48 Penunjukkan pada layar CRT dari kalibrasi probe bersudut terhadap blok standar V_1	56
2.49 Posisi probe sudut terhadap blok standar V_2	56
2.50 Penunjukkan pada layar CRT dari kalibrasi probe bersudut terhadap blok standar V_2	57
2.51 Kalibrasi TR probe	57
2.52 Penunjukkan kalibrasi TR probe pada layar CRT	58
2.53 Pengukuran dengan normal probe	58
2.54 Penunjukkan pada layar CRT	59
2.55 Pengukuran dengan normal probe pada specimen yang terdapat cacat dan penunjukkannya di layar CRT	59

2.56 Pengukuran dengan normal probe pada specimen yang cacatnya panjang dan penunjukkan di layar CRT	60
2.57 Pengukuran dengan normal probe yang tidak mengenai cacat dan penunjukkannya di layar CRT	61
2.58 Pengukuran dengan normal probe pada specimen dengan cacat yang tidak teratur dan penunjukkannya di layar CRT	62
2.59 Pengukuran dengan probe sudut pada specimen bulat yang tak bercacat dan penunjukkannya di layar CRT	63
2.60 Pengukuran dengan probe sudut pada specimen bulat yang bercacat dan penunjukkannya di layar CRT	64
2.61 Teknik pemeriksaan las	64
2.62 Teknik pemeriksaan pada berbagai macam sambungan las ..	66
2.63 Ukuran daerah yang terpantulkan	68
2.64 Panjang diskontinuitas	68
2.65 Lokasi diskontinuitas pada bagian las-lasan melintang	69
2.66 Orientasi diskontinuitas	69
2.67 Tipe diskontinuitas	70
2.68 Tinggi diskontinuitas	70
2.69 Magnetisasi sirkular	73
2.70 Tipe "yoke"	73
2.71 Tipe "coil"	73
2.72 Metode konduktor sentral	74
2.73 Metode "prod"	74
2.74 Surface crack (atas) dan sub surface crack (bawah) ...	77
2.75 Langkah pengujian dengan cairan penetran	79
2.76 Indikasi diskontinuitas yang terdeteksi pada pengujian dengan penembusan zat warna	86

DAFTAR TABEL

No.	Nama Tabel	hal
1.	Klasifikasi film radiografi	20
2.	Konstanta-konstanta yang berhubungan dengan pemilihan sumber radiasi	33
3.	Petunjuk pemilihan film radiografi	35
4.	Ketebalan material dan identifikasi penetrameter	37
5.	Beberapa tipe waktu penetrasi	84
6.	Karakteristik teknik pengujian tidak merusak	93

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fixed offshore structure khususnya jacket atau template type fixed offshore structure, merupakan jenis konstruksi yang menancap di dasar laut dan sudah dikembangkan sejak puluhan tahun yang lalu. Platform ini bisa berupa suatu konstruksi yang komplit (self contained template platform) atau dipisahkan menjadi beberapa platform kecil sesuai dengan fungsinya. Ini sangat tergantung pada lokasi serta perhitungan ekonomisnya(12).

Untuk konstruksi platform di Indonesia yang sering digunakan adalah konstruksi yang terpisah-pisah, mengingat kondisi perairan dan lingkungan yang tidak begitu ganas. Memang hal ini lebih menguntungkan ditinjau dari segi teknis maupun ekonomis.

Kiranya sudah menjadi tuntutan umum bahwa suatu konstruksi yang dibangun haruslah memiliki kekuatan dan daya dukung yang memadai sehingga bisa menunjang semua kegiatan yang akan dilakukan (sesuai fungsinya). Agar hal tersebut bisa tercapai diperlukan perhitungan yang cermat terhadap beban-beban yang akan bekerja padanya, faktor kelelahan serta faktor keamanan yang sesuai.

Setelah melalui perhitungan rancang bangun, langkah berikutnya ialah bagaimana mewujudkan struktur yang telah dihitung tersebut, menjadi bentuk yang sesungguhnya. Kegiatan inilah yang dinamakan fabrikasi dan merupakan kegiatan yang amat penting karena banyak faktor yang harus ditangani. Faktor-faktor itu meliputi masalah perwujudan dari perhitungan teoritis ke bentuk sebenarnya atau masalah-masalah lain di lapangan yang kadang-kadang menyimpang dari perhitungan teoritis. Oleh karena itu butuh prosedur pelaksanaan yang jelas, benar dan aplikatif.

Seperti kita ketahui konstruksi platform (jacket type fixed offshore structure) terdiri dari konstruksi baja dan hubungan antara bagian struktur satu dengan lainnya dilakukan menggunakan pengelasan. Jelas sekali bahwa pengelasan dalam fabrikasi konstruksi di atas memegang peranan yang penting, sehingga butuh metode dan teknologi pengelasan yang memadai. Tetapi walaupun telah dilakukan pengelasan, semua masih menjadi tanda tanya bila tidak dilakukan pengujian terhadap hasil penyambungan konstruksi tersebut. Pengujian yang diperlukan bisa berupa pengujian merusak (destructive test) atau pengujian tidak merusak (non destructive test) (6).

✓ Pada konstruksi yang sudah diassembly atau diereksi pengujian merusak tidak mungkin dilakukan dan sudah tentu pengujian tidak merusak yang diterapkan. Untuk itu dibutuhkan pemahaman tersendiri mengenai pengujian tidak merusak baik teknik pelaksanaannya maupun penggunaannya dalam fabrikasi sehingga mampu mendeteksi kondisi yang sesungguhnya terhadap sambungan konstruksi. Dengan dibuktikannya hasil pengujian sambungan konstruksi dalam fabrikasi yang memenuhi persyaratan maka hilanglah sudah keragu-raguan terhadap konstruksi yang dihasilkan. Sebaliknya justru akan meningkatkan kepercayaan (reliability) terhadap hasil fabrikasi.

1.2 Tujuan

Pada studi ini akan dipelajari tentang teknik-teknik pengujian tidak merusak yang sering digunakan dalam fabrikasi fixed offshore structure, yaitu meliputi pengujian amatan, pengujian radiografi, pengujian ultrasonik, pengujian dengan serbuk magnet dan pengujian dengan penembusan zat warna. Di samping itu juga penggunaan masing-masing teknik pengujian tersebut dalam fabrikasi fixed offshore structure.

1.3 Batasan masalah

Guna penyederhanaan masalah maka pembahasan yang dilakukan hanyalah tentang bagaimana macam-macam teknik pengujian tidak merusak tersebut (pengujian amatan, pengujian radiografi, pengujian ultrasonik, pengujian dengan serbuk magnet dan pengujian dengan penembusan zat warna) dilakukan, serta aplikasinya dalam suatu fabrikasi fixed offshore structure. Sedangkan fixed offshore structure yang dimaksud adalah jacket type fixed offshore structure.

1.4 Metode Penulisan

Dalam penyelesaian penulisan ini (sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai) ditempuh beberapa cara antara lain pengumpulan referensi atau literatur yang berhubungan dengan teknik pengujian tidak merusak, mempelajari dan memahaminya. Kemudian ditambah kegiatan survey ke perusahaan yang terkait yaitu Biro Klasifikasi Indonesia untuk berwawancara dengan orang yang bertanggung jawab terhadap pelaksanaan pengujian tidak merusak. Dari hasil analisis referensi dan informasi yang diperoleh melalui survey, disusunlah sebuah karya tulis ini.

B A B II

TEKNIK PENGUJIAN TIDAK MERUSAK

Bab ini mengetengahkan macam-macam pengujian tidak merusak yang umum digunakan pada fabrikasi fixed offshore structure, meliputi pengujian amatan (visual inspection), pengujian radiografi (radiographic test), pengujian ultrasonik (ultrasonic test), pengujian dengan serbuk magnet (magnetic particle inspection), dan pengujian dengan penembusan zat warna (dye penetrant test).

2.1 Pengujian Amatan

Pengujian amatan merupakan salah satu metode pengujian tidak merusak yang secara luas digunakan untuk mengevaluasi kualitas hasil las-lasan. Pelaksanaannya mudah, biaya relatif murah, tidak memerlukan peralatan khusus, dan memberikan informasi penting tentang kesesuaian proses pengelasan dengan spesifikasi yang digunakan. Persyaratan utama pada metode ini ialah inspektor harus memiliki kemampuan amatan yang baik.

Pengujian amatan sebagai metode evaluasi awal terhadap program pengendalian mutu bisa digunakan untuk mendeteksi cacat yang tampak dari permukaan, mendapatkan kemungkinan adanya masalah dalam operasi pengelasan dan tujuan-tujuan lain. Ketelitian pengujian amatan sebelum, selama dan sesudah pengelasan dapat mendeteksi kurang lebih 80 sampai dengan 90 persen diskontinuitas, sebelum didapatkan dengan metode pengujian tidak merusak yang lebih mahal.

2.1.1 Peralatan

Bantuan peralatan pengamatan dan pengukuran biasanya digunakan untuk mempermudah mendeteksi adanya cacat dan mengukur ukuran hasil las-lasan atau adanya kesalahan-kesalahan. Penerangan sambungan las harus cukup agar bisa diamati dengan jelas. Bila daerah yang diamati tak bisa

dilihat dengan penglihatan, inspektor dapat memakai cermin, berscope, flashlight atau peralatan bantuan lainnya. Kaca pembesar merupakan peralatan yang sangat membantu untuk mendeteksi cacat-cacat yang ukurannya kecil.

Peralatan pengukur yang memiliki standart numeris digunakan untuk berbagai macam pengukuran antara lain ukuran sambungan, perakitan, ketidaklurusan, ukuran las-lasan dan penguatannya, serta kedalaman cacat. Bentuk peralatan pengukur las-lasan bisa dilihat pada gambar 2.1. Peralatan lain seperti contact pyrometer dan crayons juga diperlukan untuk mengukur pemanasan awal dan temperatur antar pass sesuai dengan spesifikasi yang dipakai.



Gb. 2.1 Tipe peralatan pengukur las-lasan

2.1.2 Sebelum pengelasan

Pemeriksaan base metal sebelum fabrikasi dapat mendeteksi kondisi yang cenderung menyebabkan cacat dalam pengelasan. Scap, seam, scale, atau kondisi permukaan yang kurang bagus, bisa didapatkan dengan pengujian amatan. Laminasi plat dapat diamati pada potongan pinggirnya. Base metal juga harus diidentifikasi secara visual tentang tipe dan jenisnya.

Setelah bagian-bagian konstruksi dirakit pada posisinya untuk dilas, inspektor harus mengecek jarak akar lasnya (root opening), persiapan sisi dan hal-hal istimewa lainnya yang berpengaruh terhadap kualitas las-lasan. Pada

prinsipnya inspektor harus mengecek kondisi seperti dibawah ini sesuai dengan spesifikasi yang dipakai.

- a. Persiapan sambungan, dimensi dan kondisi permukaan
- b. Ukuran kelonggaran backing strip, rings atau bahan-bahan lain yang disisipkan.
- c. Kelurusan dan rakitan masing-masing batang saat dilas.
- d. Proses pengelasan dan perlengkapan pengelasan.
- e. Prosedur pengelasan dan penyetelan mesin las.
- f. Pemanasan awal.
- g. Kualitas tack weld (las titik).

2.1.3 Selama pengelasan

Pengujian amatan selama pengelasan adalah metode awal untuk pengendalian mutu. Beberapa aspek fabrikasi yang dapat dicek meliputi :

- a. Perlakuan tack weld.
- b. Kualitas pass pada akar las dan hasil lapisan las-lasan.
- c. Pemanasan awal yang sesuai dan temperatur antar pass.
- d. Urutan pass-pass pengelasan.
- e. Persiapan akar las sebelum pengelasan sisi kedua.
- f. Penyesuaian dengan prosedur yang digunakan.

Bagian yang paling kritis dari las-lasan adalah pass pada akar las sebab banyak diskontinuitas yang berhubungan dengan daerah akar las. Kecakapan pengujian amatan terhadap pass pada akar las akan membantu menghindari diskontinuitas dalam pengelasan yang lebih komplek. Kondisi kritis lainnya terjadi bila terdapat sisi kedua pada pengelasan yang rangkap. Hal tersebut meliputi penghilangan slag dan kotoran-kotoran lain dengan chipping, arg gauging, grinding untuk menghasilkan bentuk permukaan yang mulus.

Jarak akar las harus dimonitor sesuai dengan urutan

atau prosedur pengelasan. Disamping itu juga kesempurnaan tack weld, clamps, atau penguat-penguat yang direncanakan untuk mempertahankan jarak akar las sehingga penetrasi sambungan dan kelurusan bisa dijamin.

Pengujian lapisan las-lasan biasanya dikhususkan pada bentuk bead dan pembersihan antar pass. Umumnya ini dilakukan dengan mengambil patokan standart ketepatan (workmanship standart). Contoh standart lihat gambar 2.2. Masing-masing lapisan las yang dihasilkan harus dibandingkan dengan lapisan yang bersesuaian pada standart ketepatan.

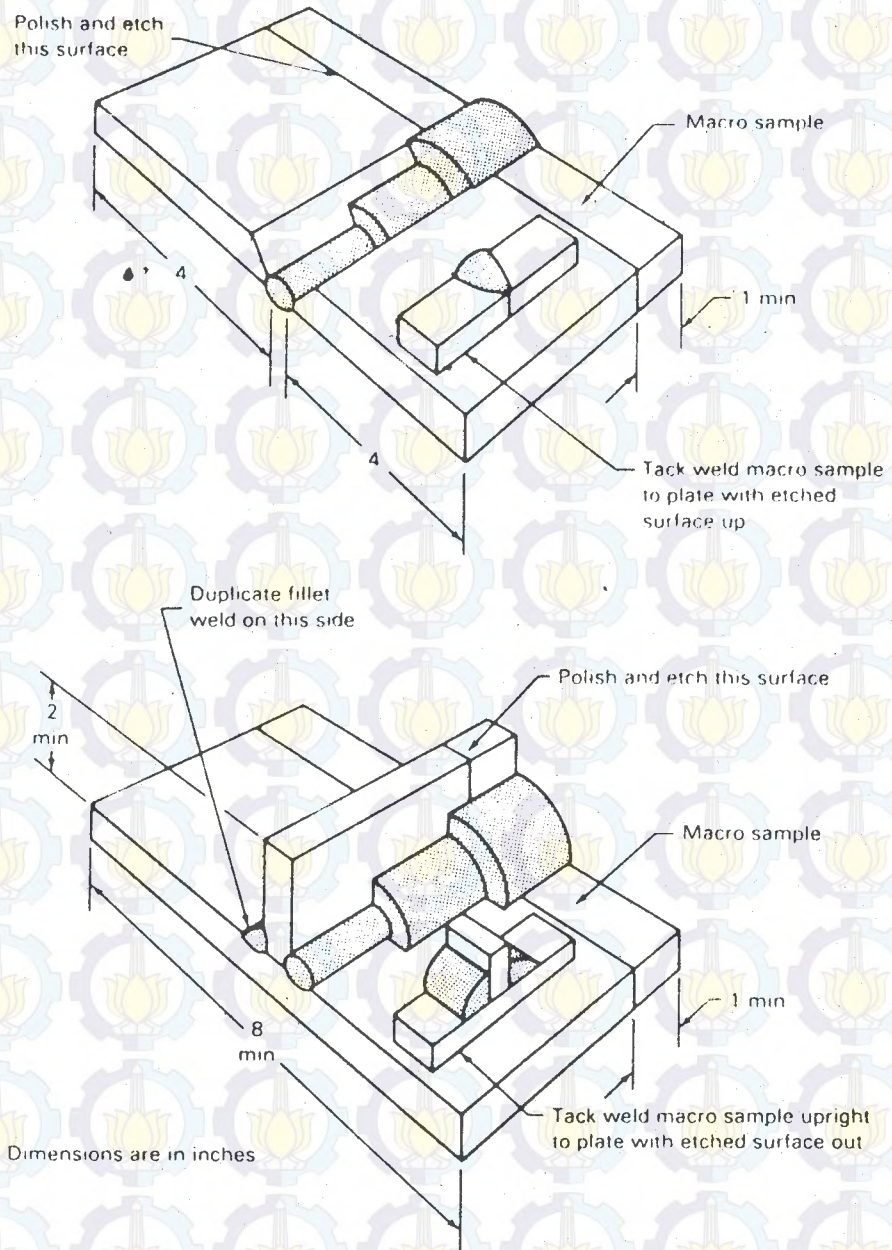
Bila pemanasan awal dan temperatur antar pass diperlukan, hal tersebut harus dimonitor pada waktu yang sesuai dengan peralatan pengukur temperatur dan peralatan lain yang dibutuhkan. Banyaknya heat input, urutan dan penempatan pass-pass pengelasan harus diperiksa untuk mempertahankan sifat-sifat mekanis dan batas distorsi yang diijinkan.

Untuk menjamin kualitas las-lasan maka masing-masing lapisan las harus dicek secara amatan oleh tukang las sesuai dengan urutan kerja, terhadap ketidakrataan permukaan dan kebersihan antar pass. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya slag inclusion atau porositas.

2.1.4 Setelah pengelasan

Hal-hal yang perlu diamati setelah pengelasan seperti berikut ini :

- a. Wujud akhir las-lasan.
- b. Ukuran las-lasan.
- c. Luas daerah pengelasan.
- d. Ketelitian dimensi yang dihasilkan.
- e. Banyaknya distorsi.
- f. Pemanasan akhir.



Gb. 2.2 Contoh standart ketepatan pengelasan untuk pengelasan dengan groove (atas) dan fillet (bawah)

Banyak codes dan spesifikasi yang menjelaskan tipe dan ukuran diskontinuitas yang dapat diterima. Beberapa diskontinuitas pada permukaan hasil pengelasan yang dapat dideteksi dengan pengamatan adalah :

- a. Crack.
- b. Undercut.
- c. Overlap.
- d. Porositas dan slag inclusion.
- e. Penampang las-lasan yang tidak baik.
- f. Kekasaran daerah las-lasan.

Agar lebih jelas perhatikan gambar di bawah ini(1).



VISUAL APPEARANCE OF SURFACE POROSITY



VISUAL APPEARANCE OF SLAG INCLUSIONS



VISUAL APPEARANCE OF UNDERCUT



VISUAL APPEARANCE OF WELD CRACKING

Gb. 2.3 Diskontinuitas yang bisa dideteksi pada pengujian amatan

Untuk ketelitian pengamatan diskontinuitas, permukaan las-lasan harus dibersihkan dari oksida atau slag. Operasi pembersihan harus dilakukan secara hati-hati untuk menghindari tertutupnya diskontinuitas dari pandangan. Sebagai contoh bila hammer digunakan untuk menghilangkan slag, maka bekas hammer dapat menutupi crack tertentu. Shot blasting juga memungkinkan permukaan weld metal menjadi halus dan menyembunyikan cacat.

Ketelitian dimensi las-lasan ditentukan dengan metode pengukuran konvensional. Alat ukur akan menentukan apakah ukuran kaki las masih dalam batas yang diijinkan, dan apakah terjadi kelebihan kecekungan atau kecekungan.

Untuk pengelasan dengan groove tinggi permukaan las harus sesuai dengan persyaratan spesifikasi begitu pula bentuk permukaannya. Umumnya las-lasan yang mulus dan ukurannya seragam, amat dibutuhkan. Ini disebabkan las-lasan merupakan bagian permukaan yang terlihat sehingga dituntut bentuk yang baik.

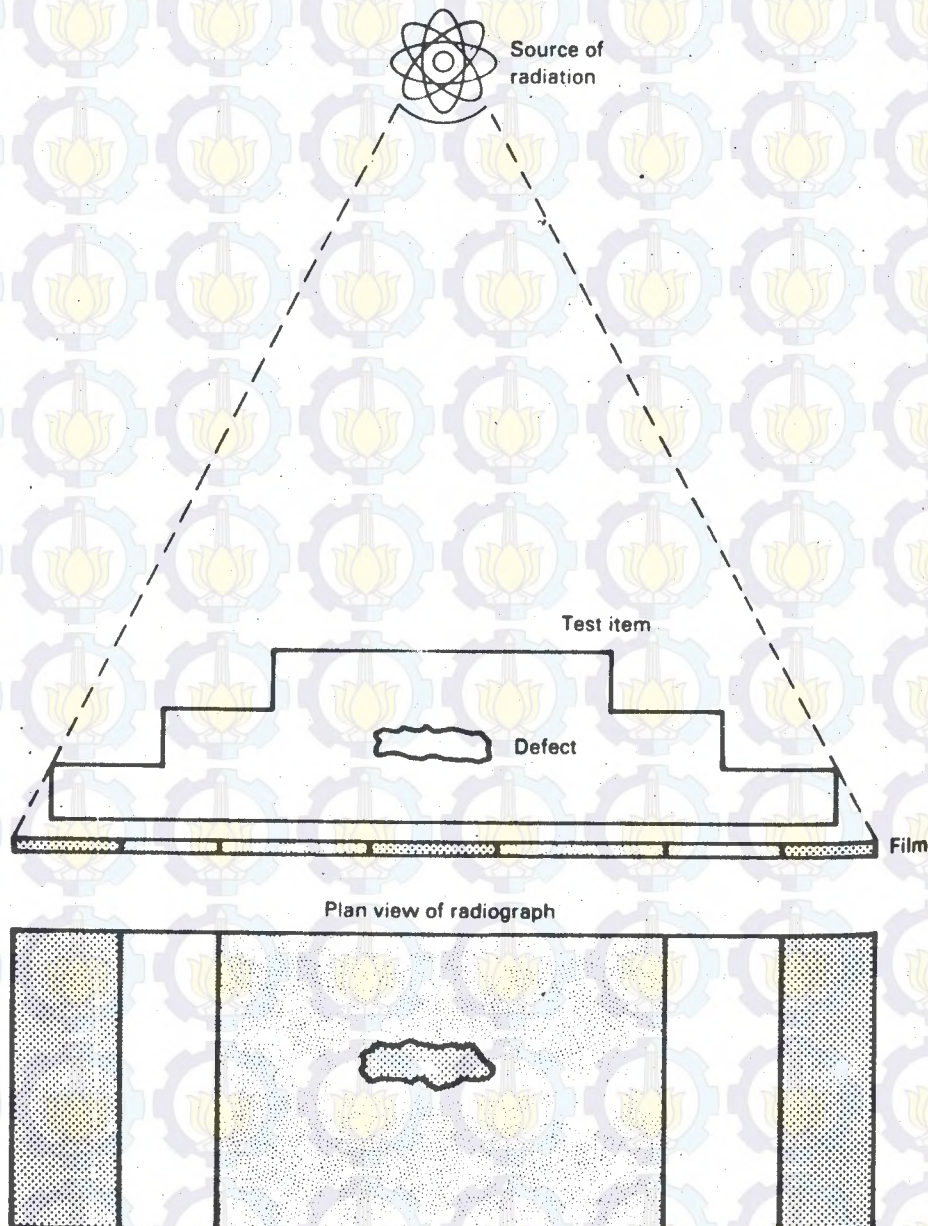
Apabila prosedur pengujian amatan dilakukan sebelum, selama dan sesudah fabrikasi maka bisa meningkatkan nilai kepercayaan suatu produksi.

2.2 Pengujian Radiografi

Pengujian radiografi terhadap suatu las-lasan menggunakan sinar X atau sinar gamma untuk menembus suatu obyek dan mendeteksi ada tidaknya diskontinuitas melalui bayangan pada peralatan pencatat atau medium penglihat. Mediumnya biasa berupa film radiografi, kertas sensitif, layar atau peralatan deteksi radiasi secara elektronik. Umumnya film radiografi dipakai untuk mendapatkan pencatatan hasil pengujian yang permanen(7).

Bila obyek yang diuji atau sambungan las-lasan dikenai radiasi maka sebagian radiasi tersebut akan diserap, dihamburkan dan sebagian lagi diteruskan melalui daerah las-lasan dan tergantung pada density, keadaan

logam, ketebalan, dan karakter radiasinya sendiri. Variasi radiasi yang diteruskan menghasilkan perbedaan kekontrasan pada medium pencatat. Konsep ini digambarkan seperti pada gambar 2.4(3).



Gb. 2.4 Konsep pengujian radiografi

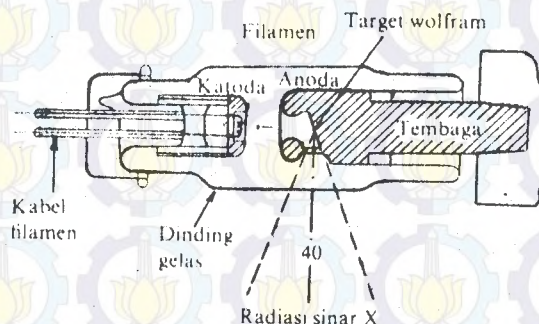
Bagian-bagian yang harus ada pada pengujian radiografi adalah :

- a. Sumber radiasi, seperti mesin pembangkit sinar X isotop radioaktif.
- b. Obyek yang diradiografi.
- c. Peralatan pencatat atau penglihat yang berupa film radiografi dan viewer.
- d. Pelaksana radiografi yang bisa diandalkan.
- e. Peralatan untuk memproses film atau mengoperasikan media pencatat.
- f. Orang yang ahli menafsirkan hasil pengujian radiografi.

2.2.1 Sumber Radiasi untuk Radiografi

(1) Pembangkit sinar X

Prinsip kerja pesawat sinar X ialah dua buah kutub listrik katoda dan anoda diberi perbedaan tegangan listrik yang cukup tinggi dan berada di ruang hampa. Pada katoda (yang berupa filamen) akan dipancarkan elektron dan karena dalam tabung hampa maka elektron-elektron dari katoda akan bergerak sangat cepat ke arah anoda. Terjadilah tumbukan dan elektron akan kehilangan energi yang berubah menjadi panas (sebagian besar) dan pancaran sinar X (sebagian kecil).



Gb. 2.5 Konstruksi tabung sinar X

Tabung gelas harus hampa, tanpa tabung yang baik maka elektron dari filamen tidak akan sampai pada target sebab akan menumbuk molekul-molekul udara sehingga energinya hilang. Hampa juga melindungi filamen dari oksidasi sehingga tidak rusak. Banyaknya elektron yang dilepas oleh katoda (filamen) sebanding dengan arus yang diberikan kepada filamen sedangkan tegangan positif yang diberikan anoda adalah berhubungan erat dengan kecepatan elektron menumbuk anoda (target) dan mempunyai hubungan dengan energi sinar X yang dipancarkan(11).

Pada umumnya semua alat pemancar sinar X yang ada sekarang sama dengan prinsip diatas (lihat gambar 2.5). Variasinya terletak pada bentuk anodanya, misal ada anoda (target) yang berputar, ada yang runcing dan ada yang datar. Di samping perbedaan tersebut ada juga perbedaan dalam sistim pendinginannya, kestabilan tegangan tinggi dan arusnya.

Bahan target biasanya harus dipilih dari bahan yang mempunyai nomor massa yang tinggi, titik leleh tinggi, mudah menghilangkan panas, dan tidak menguap pada temperatur dan hampa yang tinggi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi sinar X antara lain macam target yang dipakai dan macam tegangan yang dipakai. Daya penetrasi sinar X (quality) tergantung pada tinggi photon. Quality akan sama kalau tegangan yang digunakan sama meskipun target berbeda. Tetapi banyaknya radiasi (quantity) tak sama untuk semua macam target material. Pada prinsipnya penetrasi sinar X ditentukan oleh besarnya tegangan (kV) yang dihasilkan oleh pemancar sinar X.

Rumus dibawah ini menyatakan hubungan antara kV dan panjang gelombang sinar X.

$$\lambda = \frac{12,4}{kV} \text{ \AA}$$

dengan : kV = Kilovolts pesawat sinar X yang dipakai

λ = Panjang gelombang sinar X

Jadi makin besar kV-nya maka makin kecil λ (panjang gelombang sinar X) sehingga makin besar daya tembus sinar X. Quantity sinar X (jumlah sinar X) dapat diperbesar dengan mengatur (memperbesar) arus (mA) filamen.

(2) Radioisotop pemancar sinar γ

Tidak semua sumber isotop radioaktif pemancar sinar γ dapat dipakai untuk keperluan radiografi. Ada suatu persyaratan yang harus dipenuhi untuk dipakai sebagai sumber untuk radiografi antara lain :

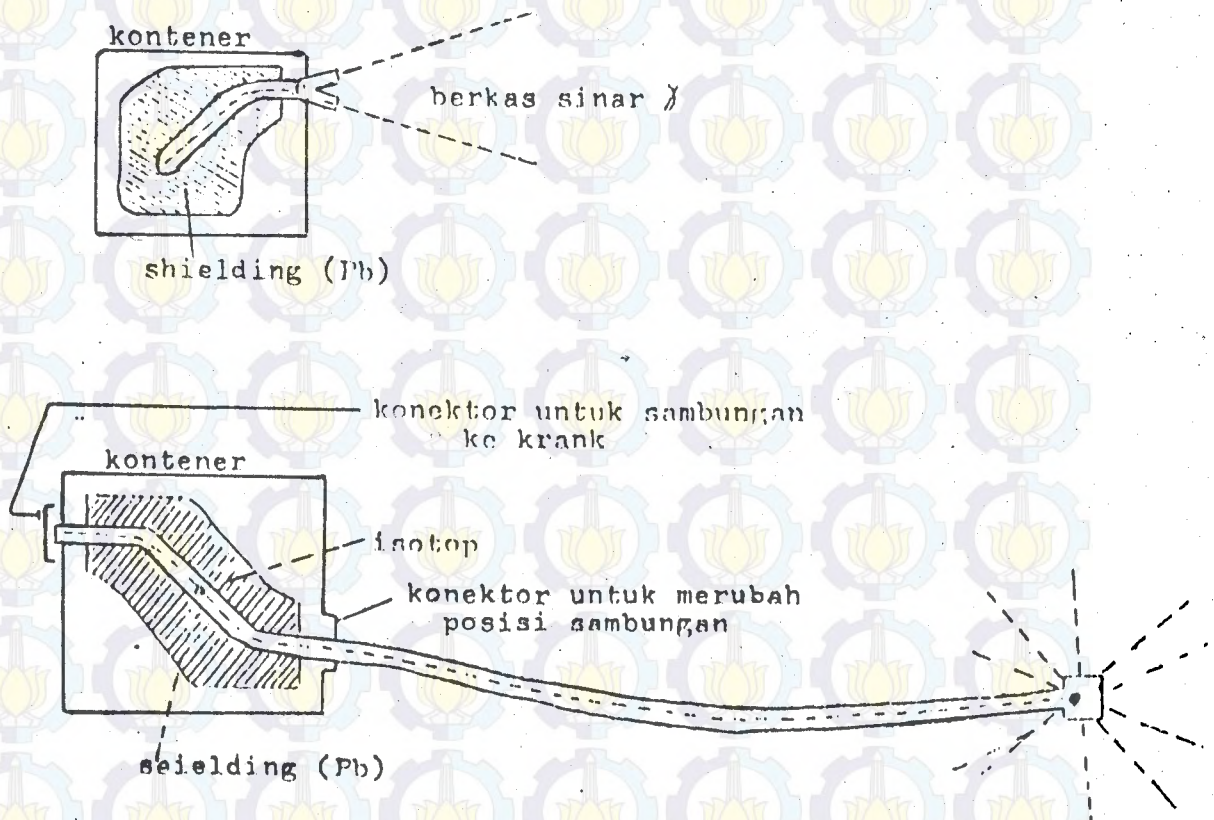
- $T^{1/2}$ (half life) panjang.
- Harganya murah.
- Intensitas sinar besar.
- Energi yang dipancarkan tidak kompleks.
- Spesifik aktivitasnya besar sehingga dimensinya kecil

Radium (Ra-226) adalah isotop radioaktif yang pertama kali dipakai untuk radiografi, mudah didapatkan dari alam, tetapi setelah ditemukan Co-60 dengan jalan pembuatan di reaktor nuklir maka pemakaian Ra-226 berkurang, demikian pula setelah ditemukan Ir-192 yang dapat menggantikan Co-60 dalam beberapa pemakaian. Kemudian setelah ditemukan Cs-137 dan Tm-170 maka pemeriksaan las-lasan bahan tipis sudah tidak banyak dipakai karena mempunyai dimensi yang besar (spesifik activity rendah), sehingga hasil radiografi kurang baik.

Karena isotop cukup berbahaya dan selalu memancarkan sinar γ , maka diperlukan peralatan khusus untuk mengatasi hal tersebut yang disebut kontener. Ada 2 tipe kontener yaitu :

- a. Tipe memindahkan (menggerakkan) sumber isotop dari tengah-tengah kontener (shielding) ke permukaan kontener saja dan umumnya hanya mempunyai satu arah berkas sinar.
- b. Tipe memindahkan (menggerakkan) isotop dari tengah-tengah kontener ke suatu titik yang

dikehendaki. Biasanya berkas sinar dapat diubah-ubah dengan kolimator sesuai dengan kebutuhan.



Gb. 2.6 Kontener tipe 1 (atas) dan tipe 2 (bawah)

Penggerak isotop dapat bermacam-macam baik secara mekanik, elektrik, hidraulik ataupun pneumatic tetapi penggerak secara mekanik lebih banyak dipakai karena lebih mudah mengatasinya.

2.2.2 Interaksi dengan Materi

Partikel atau sinar X dan γ yang mempunyai kecepatan tinggi ketika memasuki atom atau materi akan berinteraksi dengan atom atau materi tersebut. Interaksi yang terjadi adalah :

a. Interaksi elektron dengan materi.

Ketika memasuki atom elektron akan mengalami interaksi baik dengan elektron yang mengelilingi inti ataupun dengan proton yang bermuatan positif. Dalam interaksi elektron akan mengalami perlambatan dan juga pembelokan arahnya sehingga ada energi yang dilepaskan berupa sinar X.

b. Interaksi proton dengan materi.

Proton bermuatan positif satu, dalam memasuki inti akan timbul gaya Coulomb yang bekerja baik pada inti atau elektron, yang terjadi karena :

- Elektron akan terlempar ke luar dari salah satu kulit dan akan diisi lagi oleh elektron dari kulit atomnya sehingga dipancarkan karakteristik sinar X.
- Proton akan memasuki inti dan terjadi reaksi inti. Dalam reaksi ini akan terlempar proton atau neutron.

c. Interaksi alpha (α) dengan materi.

Hampir sama seperti pada proton, tetapi karena alpha mempunyai massa dan muatan lebih besar maka gaya Coulomb yang timbul juga besar sehingga daya ionisasi akan lebih besar. Dengan demikian jarak tempuh alpha dalam materi menjadi pendek.

d. Interaksi sinar X dan γ dengan materi.

Sinar X dan γ bila memasuki suatu material akan diperlemah (attenuasi) sesuai dengan rumus di bawah ini.

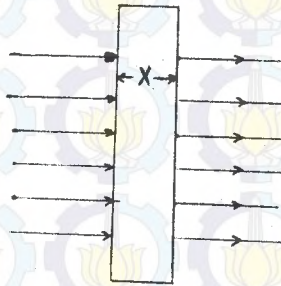
$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

dengan I = Intensitas sinar X atau γ setelah menembus material.

I_0 = Intensitas mula-mula.

μ = Koefisien perlemahan linear.

x = tebal material.



Gb. 2.7 Intensitas sinar X atau γ sebelum dan sesudah menembus material

Proses pelemahan sinar X dan γ akibat interaksi dengan materi dapat dibedakan atas 3 peristiwa tergantung kepada energi sinar X dan γ , yaitu :

- Efek fotolistrik.

Energi sinar X dan γ yang rendah dipindahkan seluruhnya (diserap) kepada elektron dari atom sehingga elektron tersebut terlempar keluar dengan energi kinetik sebesar :

$$E_k = h\nu - E_i$$

dengan : E_i = energi ikat elektron.

$h\nu$ = energi sinar X atau γ (photon).

E_k = energi kinetik.

- Hamburan compton.

Energi photon yang mengadakan interaksi agak besar dibandingkan dengan energi photon pada peristiwa efek fotolistrik, sehingga sebagian energi photon diserap elektron atom dan sebagian lagi masih berupa photon dengan energi yang lebih rendah dari energi photon semula (dihambur).

- Pembentukan pasangan.

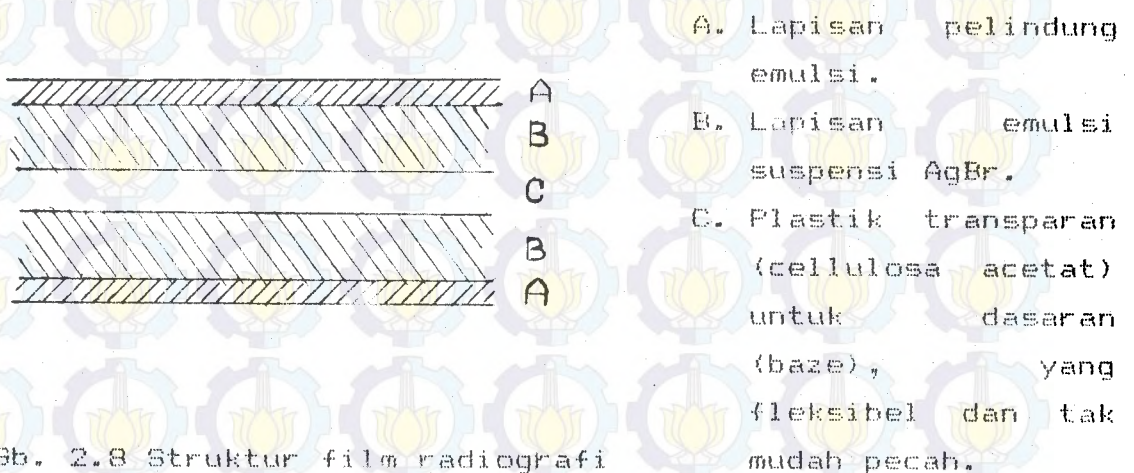
Energi photon ini lebih tinggi dari energi photon yang menyebabkan hamburan compton. Dalam proses interaksi ini akan terbentuk pasangan

elektron positif (positron) dan elektron negatif. Proses ini terjadi bila energi photon 1,023 MeV.

2.2.3 Film Radiografi

a. Pengertian dan Klasifikasi film radiografi.

Film merupakan salah satu alat deteksi atau perekam gambar dari suatu obyek radiografi. Pada umumnya film radiografi ini terdiri dari plastik yang transparan (cellulosa-acetat-baze), dan kedua bidang sisinya dilapisi emulsi gelatine (sebagai proteksi emulsi) yang di dalamnya tersebar merata lapisan emulsi butir-butir kecil (fine grain) dari suspensi silver halida (misal AgBr). Gambar di bawah ini menunjukkan struktur yang terdapat pada film radiografi.



Gb. 2.8 Struktur film radiografi

Lapisan emulsi (senyawa AgBr) ini sangat sensitif terhadap cahaya, baik cahaya tampak maupun sinar X atau γ . Bila sinar X dan γ jatuh di atas emulsi ini, maka terjadilah salah satu proses interaksi, dimana elektron yang dihasilkan oleh screen akan mempengaruhi emulsi dan terionisasi sehingga terbentuk logam Ag (perak). Logam Ag yang terbentuk masih belum terlihat dan ini dinamakan bayangan latent. Bila diproses developing lebih lanjut, maka terlihat bayangan hitam sesuai dengan exposure yang mengenainya.

Prinsip dasar untuk memeriksa gambar radiografi adalah melihat variasi kehitaman suatu film. Bila bagian film yang terkena sinar lebih banyak akan tampak lebih hitam dan ini disebut densitinya lebih tinggi atau sebaliknya bagian film yang hanya sedikit dikenai sinar akan terlihat lebih transparan, dan ini disebut densiti rendah (under exposure).

Perbedaan densiti ini dinamakan radiographic-contrast (kontras radiografi) yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kontras subyek, kontras film, energi sinar yang mengenainya, screen yang digunakan, scattering dan pemrosesan film.

Kontras film adalah kemampuan film untuk mendeteksi dan mencatat perbedaan exposure dalam bentuk perbedaan densiti film. Itulah sebabnya kontras film adalah salah satu faktor yang mempengaruhi mutu radiografi.

Exposure didefinisikan sebagai hasil kali intensitas sinar, I dengan waktu penyinaran, t atau Ci-menit untuk sinar γ dan mA-menit untuk sinar X.

Film radiografi umumnya dibuat dengan variasi emulsi untuk mendapatkan tingkat kontras film dan juga untuk mendapatkan berbagai tingkat kecepatan film. Cepat dan lambatnya film dipengaruhi oleh besar kecilnya butir-butir AgBr yang tersebar merata dalam emulsi. Makin besar butir-butir AgBr, maka film tersebut makin cepat atau sebaliknya.

Dari besarnya ukuran butir-butir AgBr ini, maka film dibagi atas 4 klasifikasi, yaitu :

1. Extra fine grain (Kelas I)

Mempunyai kontras yang tinggi dan sensitivitas yang tinggi, tetapi waktu penyinarannya lama. Digunakan untuk high voltage X-ray machine dan untuk pemeriksaan obyek-obyek metal ringan.

2. Fine grain (Kelas II)

Mempunyai kontras yang tinggi, tetapi waktu penyinaran

lebih cepat dari nomor 1.

3. Medium fine grain (Kelas III)

Disebut juga medium speed film, kontras agak kurang dan waktu penyinaran lebih cepat dari nomor 2.

4. Coarse grain (Kelas IV)

Disebut juga high speed film, cepat sekali hampir 2 kali dari nomor 3. Untuk pemeriksaan steel dan logam-logam berat lain pada voltage X-ray yang terbatas (tidak begitu tinggi).

Secara ringkas bisa dilihat, pada tabel di bawah ini.

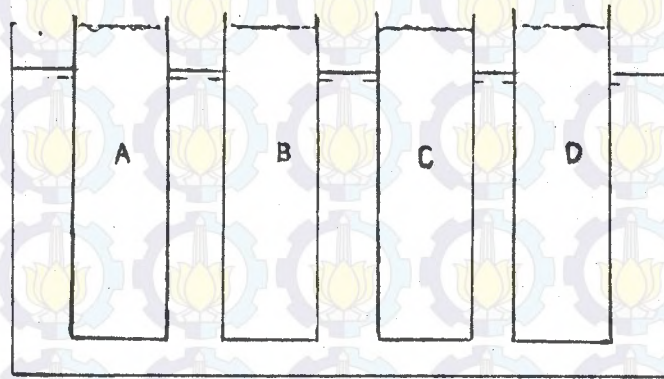
Tabel 1. Klasifikasi Film Radiografi

Kelas I	Kelas II	Kelas III	Kelas IV
Baik	← Kualitas gambar	→	Kurang
Lambat	← Kecepatan film	→	Cepat

b. Pemrosesan film

Film yang telah disinari harus diproses agar gambar laten yang terdapat pada film tersebut dapat menjadi kelihatan. Pekerjaan pemrosesan ini sangat penting karena kesalahan dalam teknik proses akan membuat film tersebut tak berguna lagi.

Sebelum pemrosesan dimulai, harus disiapkan larutan-larutan dengan konsentrasi yang cukup, temperatur dan tempo pemrosesan sesuai dengan rekomendasi dari pabrik. Perlengkapan yang dipergunakan ialah tangki pemrosesan, hanger film untuk mengurangi kerusakan-kerusakan pada film selama pemrosesan. Keadaan ruangan gelap (dark room) harus benar-benar aman dari cahaya yang tidak diinginkan.



Gb. 2.9 Tangki pemrosesan

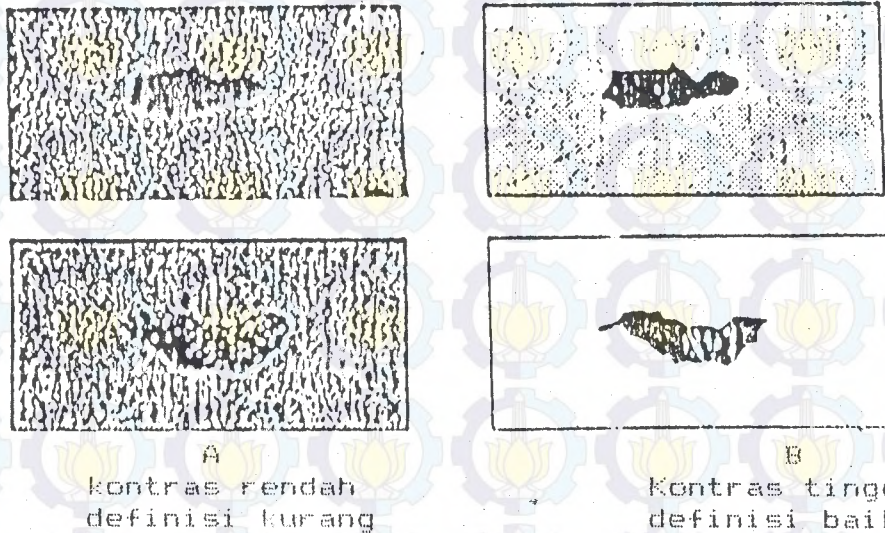
Keterangan gambar :

- A = Larutan developer
- B = Larutan stop bath (Acetic acid + water)
- C = Larutan fixer
- D = Pencuci akhir

Pada larutan developer : $T = 68^{\circ}\text{F}$ (20°C) merubah Ag (garam) yang telah disinari menjadi Ag (metal) yang hitam warnanya. Lamanya dalam larutan ini 5-8 menit. Pada stop bath, menghentikan proses kehitaman. Dapat dilakukan pada air biasa dengan lama proses 1-2 menit. Pada fixer, Ag yang tidak disinari akan dilepaskan dari film, dan menguatkan gambar yang telah terjadi, lamanya 10-15 menit. Pada air biasa (yang sedang mengalir) untuk membersihkan dari sisa-sisa fixer, lamanya 20-30 menit. Sebelum film dikeringkan dalam alat pengering (driyer), dapat dicelupkan untuk waktu 1/2-1 menit dalam larutan aerosol, untuk menghilangkan bekas butir-butir air pada film.

2.2.4 Kualitas Hasil Radiografi

Kualitas hasil radiografi ditentukan oleh sensitivity yang terjadi. Sensitivity sendiri merupakan besaran untuk mengukur kepresisian hasil radiografi. Sedangkan besaran yang mempengaruhi sensitivity adalah kontras radiografi dan definisi radiografi. Radiografi yang baik dihasilkan dengan persyaratan kontras tinggi dan definisi baik.



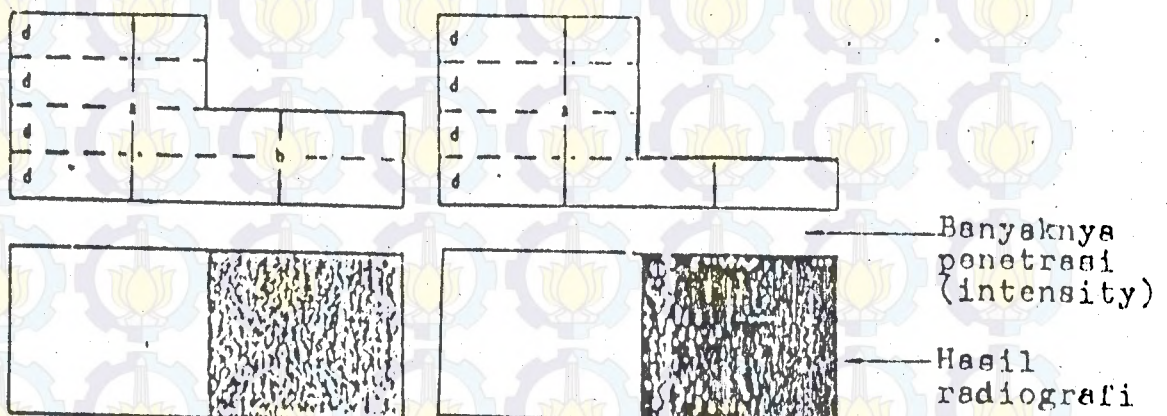
Gb. 2.10 Hasil Radiografi

Kontras adalah perbedaan densiti dari daerah-daerah pada film hasil radiografi. Bila perbedaan densiti besar maka kontras makin tinggi.

Kontras dapat dibagi menjadi 2 yaitu kontras benda dan kontras film.

a. Kontras benda.

Kontras benda adalah kontras yang disebabkan oleh benda itu sendiri, akibat perbedaan tebal, densiti dan energi radiasi.



Gb. 2.11 Hasil radiografi yang berbeda kekonsentrasannya pada ketebalan yang berbeda, tetapi radiasi sama

b. Kontras film.

Kontras film disebabkan adanya perbedaan intensitas yang keluar dari benda yang diperiksa pada bagian tak bercacat dan bercacat.

Perbedaan tersebut dituliskan dalam rumus seperti berikut :

$$\Delta I = I_x - I_d \dots\dots\dots (2)$$

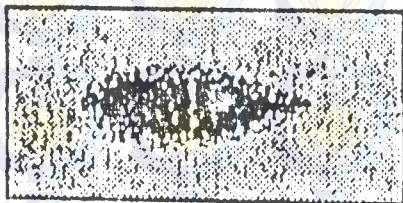
dengan :

ΔI = perbedaan intensitas.

I_x = intensitas sinar yang keluar dari benda tanpa cacat.

I_d = intensitas sinar yang keluar dari benda yang cacat.

Definisi radiografi adalah suatu ukuran yang berkenaan dengan bayangan dari hasil radiografi. Suatu bayangan hasil radiografi dikatakan mempunyai definisi baik apabila batas daerah-daerah yang berbeda densitinya adalah tajam dan jelas.



Gb. 2.12 Hasil radiografi dengan definisi kurang (kiri) dan definisi baik (kanan)

Besaran-besaran yang berpengaruh terhadap definisi antara lain ketidaktajaman geometri (geometrical unsharpness), ketidaktajaman asal (inherent unsharpness), dan hamburan.

a. Ketidaktajaman geometri.

Ketidaktajaman geometri adalah suatu parameter yang

menentukan definisi dan besarnya dapat diukur dengan mengukur lebar penumbra (U_g).

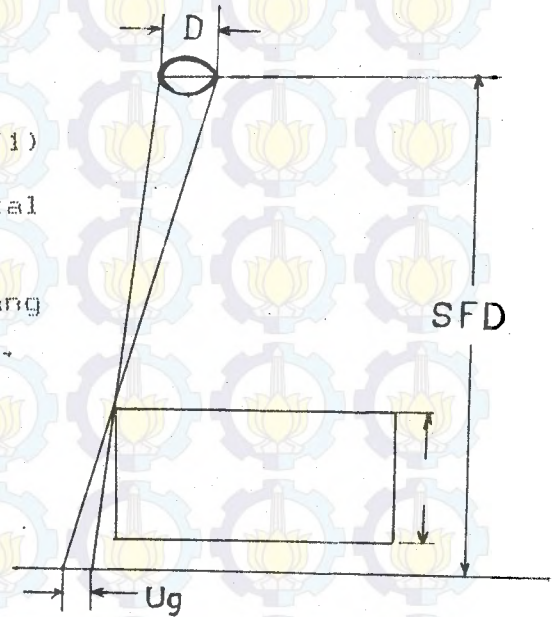
$$U_g = \frac{D \cdot t}{SFD - t} \dots \dots \dots (1)$$

U_g = Unsharpness geometrical

D = Diameter sumber

t = Tebal material yang diperiksa

SFD = Jarak sumber ke film



Gb. 2.13 Pengukuran penumbra

b. Ketidaktajaman asal.

Ketidaktajaman asal adalah parameter yang mempengaruhi definisi pada film. Penyebab terjadinya ketidaktajaman asal adalah elektron yang terlepas apabila radiasi melalui film. Terlepasnya elektron tersebut akibat efek hamburan Compton dan efek fotolistrik. Elektron akan membentuk sudut dengan radiasi yang datang sehingga definisi terpengaruh. Ketidaktajaman asal sukar diatasi, tetapi pengaruhnya kecil.

c. Hamburan.

Radiasi hamburan adalah radiasi yang datangnya dari segala arah akibat pantulan radiasi utama. Dalam pekerjaan radiografi radiasi hamburan ini tidak diinginkan karena akan mempengaruhi definisi. Sudut radiasi (sinar) hamburan tersebut tergantung pada energi radiasi utama, makin tinggi energinya

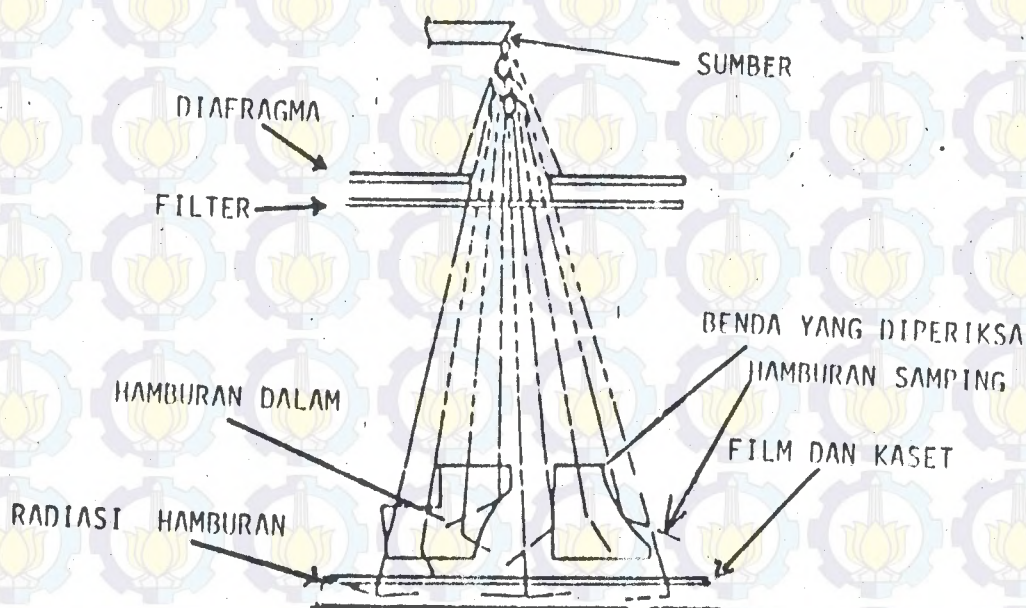
makin kecil sudut sinar hamburannya dan sebaliknya. Hal ini bisa dilihat seperti gambar di bawah ini.



Gb. 2.14 Sudut sinar hamburan

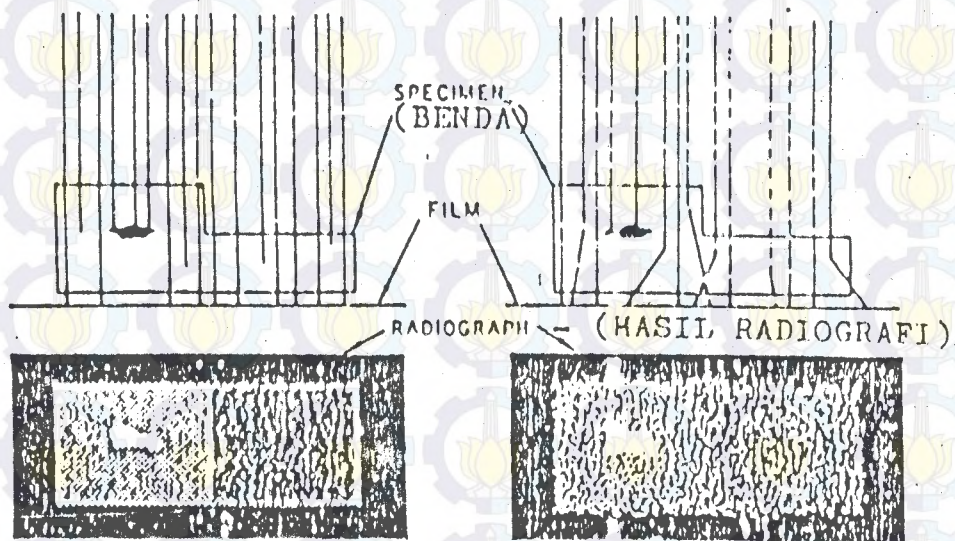
Radiasi hamburan datanganya dari segala arah, maka penyebabnya dapat berasal dari benda yang diperiksa atau benda-benda lain disekelilingnya.

Hamburan radiasi makin besar apabila yang diperiksa makin tebal. Di samping itu rapat massa benda juga berpengaruh. Makin kurang rapat massanya, makin besar hamburan yang terjadi. Pada gambar 2.15 ditunjukkan hamburan yang terjadi pada benda yang diperiksa.



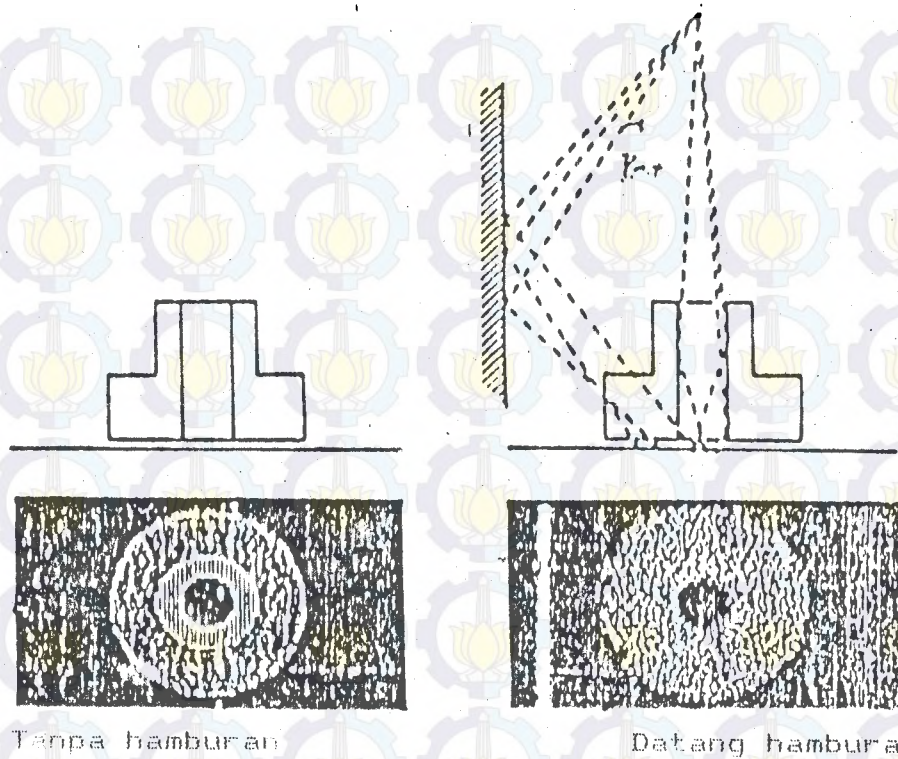
Gb. 2.15 Hamburan pada benda yang diperiksa

Sedangkan pengaruh hamburan pada benda terhadap hasil radiografi adalah jelas sekali, seperti terlihat pada gambar 2.16.



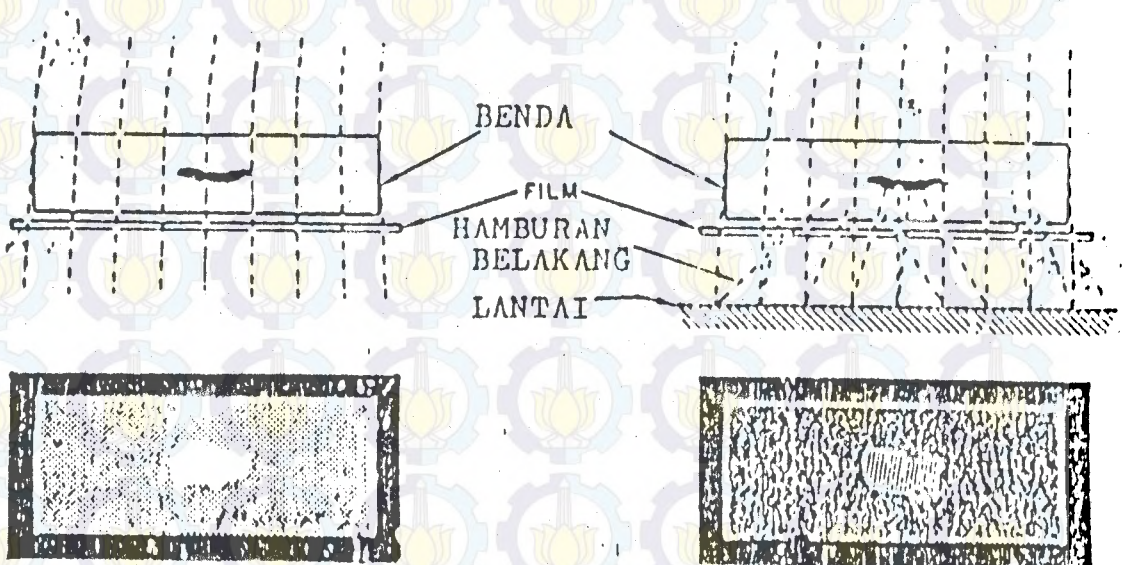
Gb. 2.16 Pengaruh hamburan terhadap definisi hasil radiografi

Radiasi hamburan bisa disebabkan oleh benda di sekeliling obyek yang diperiksa, misalnya dinding, lantai atau benda lain. Gambar 2.17 menunjukkan akibat hamburan samping yang berasal dari dinding. Pada gambar kiri tanpa hamburan sehingga definisi baik tetapi sebelah kanan, terjadi hamburan dan definisinya kurang.



Gb. 2.17 Akibat hamburan samping pada hasil radiografi

Radiasi hamburan bisa juga berasal dari bagian belakang benda yang diperiksa, yang biasanya disebabkan oleh lantai atau benda lain yang terletak di belakang benda yang diperiksa.



Gb. 2.18 Pengaruh radiasi hamburan yang datang dari bagian belakang benda yang diperiksa

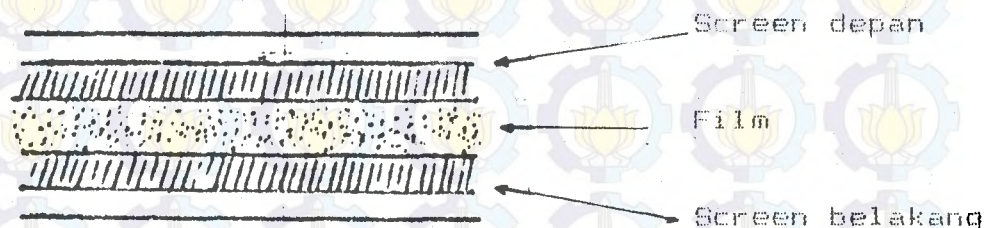
2.2.5 Cara Mengurangi Hamburan.

Ada beberapa metode untuk mengurangi atau menghindarkan terjadinya hamburan, antara lain dengan screen, mask, kolimator, filter, dan shot.

a. Screen.

Screen adalah metal tipis yang diletakkan mengapit film dalam kaset. Fungsi screen di samping menyerap semua radiasi hamburan yang tidak diinginkan, juga berfungsi sebagai pemancar elektron, dan elektron inilah yang akan menghitamkan film. Karena elektron tersebut berenergi rendah, maka mudah untuk diserap oleh film sehingga film menjadi hitam. Jadi screen berfungsi untuk melindungi film terhadap hamburan dan memperpendek waktu penyinaran (pemancar elektron).

Gambar 2.19 menunjukkan letak screen pada kaset. Kedua screen tersebut mengapit film. Bagian yang menghadap sumber dikatakan screen depan dan bagian yang letaknya di belakang film dinamakan screen belakang.



Gb. 2.19 Penampang kaset yang berisi screen dan film

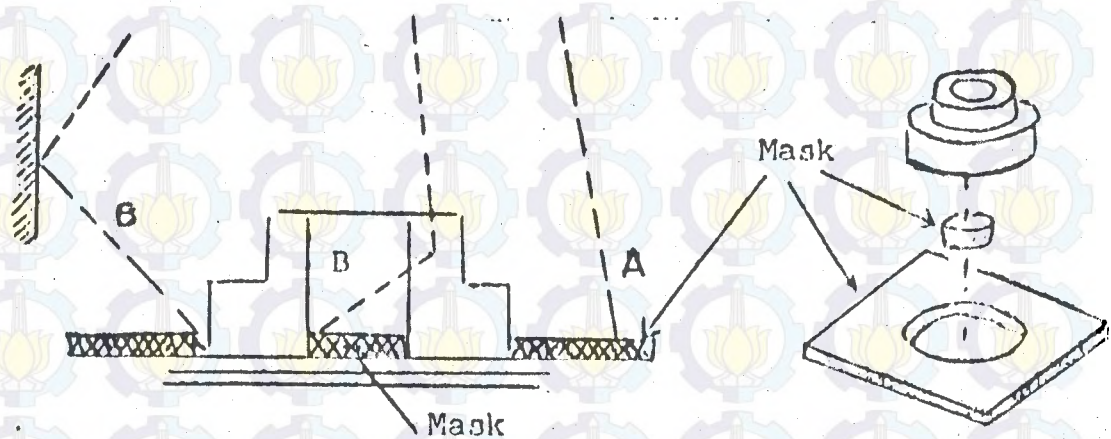
Secara garis besar screen dapat dibagi menjadi 3, sesuai dengan metal yang digunakan yaitu :

1. Screen metal (timah hitam, tembaga dan besi)
2. Screen flourescent (CaWO_4)
3. Screen metal flourescent (gabungan dua diatas)

b. Mask (penutup).

Mask adalah penutup yang diletakkan pada sekeliling benda dan mempunyai berat jenis yang lebih besar dari benda yang diperiksa, yang berguna untuk mengabsorber radiasi hamburan yang datang dari samping.

Penutup tersebut dapat berupa timah hitam, tembaga atau besi. Ada kalanya digunakan lilin barium atau bismuth yang merupakan absorber radiasi yang baik dan mudah dibentuk. Gambar 2.20 memperlihatkan kegunaan masking pada suatu pekerjaan radiografi.



Gb. 2.20 Masking dan kegunaannya

keterangan gambar :

A : Radiasi yang tidak mengenai benda akan diserap dan hamburan yang terjadi bisa berkurang.

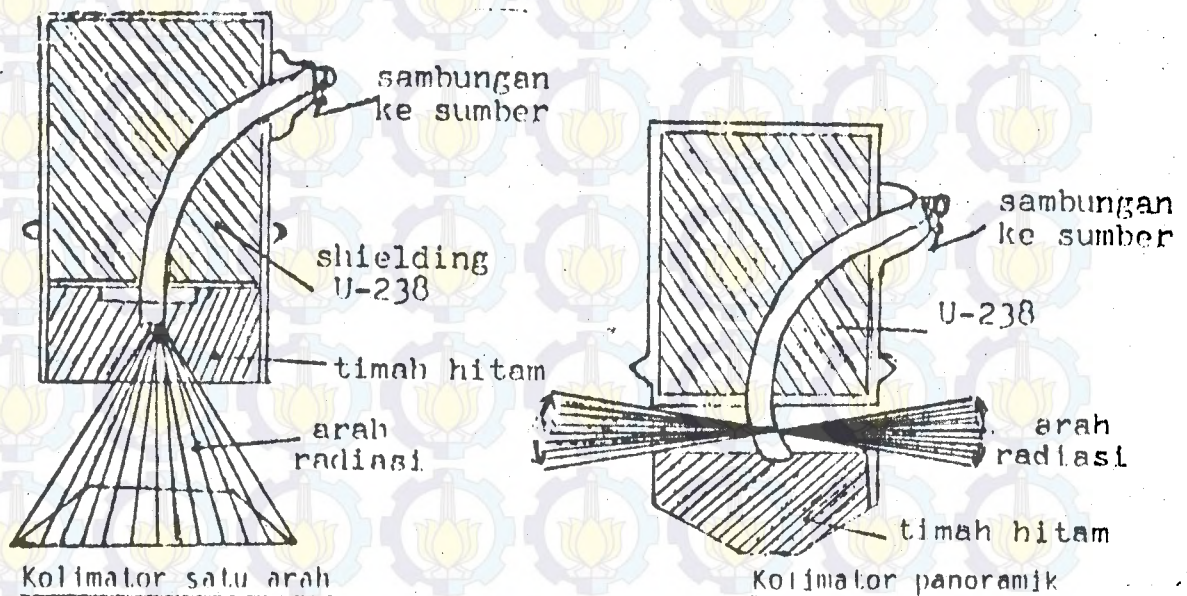
B : Hamburan benda yang diserap akan mengurangi pinggir yang termakan.

c. Kolimator.

Kolimator adalah salah satu alat untuk mengarahkan radiasi yang dipancarkan oleh sumber dan terbuat dari logam penyerap radiasi (timah hitam). Dengan mengarahkan radiasi utama ke benda sasaran, maka akan mengurangi penyebarannya dan hal ini akan mengurangi radiasi hamburan yang terjadi.

Ada bermacam-macam kolimator yang disesuaikan dengan kegunaannya dan secara garis besar dapat dibagi menjadi

dua, yaitu kolimator satu arah dan kolimator panoramik. Agar lebih jelas lihat gambar 2.21.



Gb. 2.21 Bentuk-bentuk kolimator

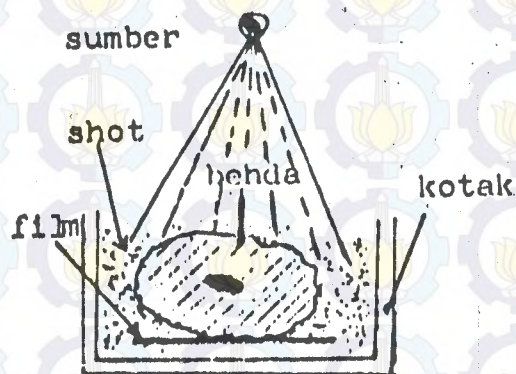
d. filter.

Filter adalah logam tipis yang diletakkan antara sumber dan benda yang diperiksa. Gunanya adalah untuk menyerap energi radiasi yang rendah dan meloloskan energi radiasi yang tinggi.

e. Shot (butiran)

Shot digolongkan dalam masking, terutama dilakukan pada benda yang bentuknya sukar dimasking, misalnya bulat, lonjong, dll. Shot bertujuan untuk mengurangi hamburan dengan cara memberikan butiran-butiran penyerap di sekeliling benda yang diperiksa.

Pada gambar di bawah terlihat cara menggunakan shot pada suatu pekerjaan radiografi. Cara melakukannya sama seperti pada masking, hanya di sini digunakan butiran-butiran logam penyerap radiasi.



Gb. 2.22 Cara melakukan shot pada pekerjaan radiografi

Cara mendeteksi adanya hamburan pada hasil radiografi dibagi menjadi dua, yaitu :

- Hamburan yang datangnya dari benda dan bagian depan dari benda yang diperiksa. Hasil radiografi yang disebabkan hamburan ini burur atau termakan pada bagian pinggir (edge cutting).
- Hamburan yang datang dari belakang bisa dilihat dengan menempelkan pada kaset bagian belakang, nomor timah hitam. Bila nomor timah hitam tersebut tampak pada hasil radiografi maka hamburan dari belakang berpengaruh.

2.2.6 Membaca Sensitivitas Hasil Radiografi

Untuk mengetahui kualitas hasil radiografi, maka harus diketahui sensitivitasnya terlebih dahulu yang dapat ditentukan dengan menghitung tebal (diameter) penny kawat yang dipakai.

$$\text{Prosentase sensitivitas} = \frac{t}{T} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

t = tebal kawat penetrameter (penny) terkecil yang terlihat.

T = tebal benda (las) yang diperiksa.

Bila penetrameter yang digunakan adalah tipe lubang (ASTN) maka penentuan sensitivitasnya sesuai dengan rumus berikut ini.

$$S = \frac{100}{x} \sqrt{\frac{T \cdot h}{2}} \dots \dots \dots (4)$$

dengan :

S = Sensitivitas dalam persen (%)

T = Tebal penetrameter

h = diameter lubang terkecil yang tampak pada hasil radiografi

x = tebal benda yang diradiografi

Contoh perhitungan sensitivitas.

1. Suatu benda tebalnya 20 mm diradiografi dan digunakan penetrameter model DW 10/16. Dari hasil radiografi dapat dilihat kawat penetrameter nomor 14 atau sama dengan tebal kawat (0,16 mm).

$$\text{Sensitivitasnya} = \frac{0,16}{20} \times 100\% = 0,8\%$$

2. Tebal benda yang diperiksa = 1/4". Tebal penetrameter yang dipakai 0,005". Diameter lubang terkecil yang tampak = 0,010".

$$\text{Sensitivitasnya} = \frac{100}{1/4} \sqrt{\frac{0,05 \cdot 0,010}{2}} = 2\%$$

2.2.7 Teknik Set Up

a. Pemilihan sumber radiasi.

Bila material yang akan diperiksa mempunyai tebal = t mm, sumber radiasi manakah yang akan digunakan ?.

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk memilih kV dari suatu sinar X. Salah satu contoh formula yang sering digunakan adalah :

$$V = A + Bx \dots \dots \dots (5)$$

dengan :

V = Voltage dalam kV

x = Tebal dalam mm

A,B = Konstanta-konstanta yang besarnya terdapat pada tabel 2. di bawah ini.

Tabel 2. Konstanta-konstanta yang berhubungan dengan pemilihan sumber radiasi

Tebal (mm)	Al		Besi	
	A	B	A	B
$0,05 < x \leq 5$	20	5	40	10
$5 < x \leq 50$	40	1,5	75	4,5

Jadi untuk besi t misal = 15 mm, kV yang akan memberikan kemungkinan sensitivity yang baik adalah :

$$\begin{aligned}
 V &= A + Bx \\
 &= 75 + (4,5)(15) \\
 &= 75 + 67,5 \\
 &= 142,5 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

b. Pemilihan film radiografi.

Film radiografi untuk industri dapat diklasifikasi menurut tipe-tipe sebagai berikut.

<u>Tipe film</u>	<u>Kecepatan</u>	<u>Kontras</u>	<u>Graininess</u>
1.	rendah	sangat tinggi	sangat rendah
2.	medium	tinggi	rendah
3.	tinggi	medium	tinggi
4.	sangat tinggi (medium)	sangat tinggi (medium)	----- (medium)

Pemilihan film radiografi, biasanya telah ditentukan dalam code atau specification bagi material yang akan diperiksa. Bila film tersebut tidak dispesifikasi, ada beberapa petunjuk yang dapat dipergunakan untuk pemilihan film tersebut, yaitu dengan mengingat beberapa faktor antara lain density, kontras, graininess, dan kecepatan film.

Kontras gambar radiografi bertambah bila density film tersebut bertambah. Akan tetapi density film mempunyai limit yang sangat terbatas tergantung pada viewer yang dipakai. Density film yang baik adalah sekitar 2 - 2,5.

Kontras suatu film ditentukan oleh slope dari kurva karakteristik film tersebut. Makin tajam slope kurva tersebut makin tinggi kontras film. Pemilihan film yang berdasarkan kontras tergantung pada defect yang dicari. Bila defect-defect yang halus akan dicari maka film dengan kontras tinggi yang harus digunakan.

Graininess suatu film mengakibatkan ketajaman gambar radiografi. Makin kecil dimensi grain makin tajam hasil gambar radiografi, tetapi sebaliknya kecepatan film makin lambat.

Sedangkan kecepatan film berbanding langsung dengan grain film. Untuk kecepatan film yang cepat grain filmnya besar (kasar). jadi bila dalam suatu pekerjaan radiografi diminta kualitas radiografi yang tinggi, maka harus dipergunakan film dengan kecepatan lambat dan grain halus. Akan tetapi kalau dibutuhkan waktu penyinaran pendek, maka dipergunakan film dengan kecepatan tinggi, dengan catatan faktor kualitas (sensitivity) tak terlalu penting.

Pada tabel 3, dijelaskan tentang pemilihan film berdasarkan spesifikasi ASME(5).

c. Pemilihan SFD.

Source Film Distance (SFD) biasanya telah dispesifikasi. Kalau tidak dispesifikasi maka kita dapat menentukan SFD agar gambar radiografi yang dihasilkan cukup tajam.

SFD adalah untuk mengontrol ketidaktajaman gambar radiografi. Pengukuran ketidaktajaman pada gambar radiografi dapat ditentukan dengan mengukur lebar penumbra. Pada umumnya gambar industri radiografi dengan penumbra 0,020" (0,5 mm) kelihatan cukup tajam dengan mata normal.

Sesuai dengan persamaan (1), penumbra dapat ditulis sebagai berikut :

$$U_g = \frac{D \cdot t}{SFD - t}$$

Jadi penumbra ditentukan oleh 3 faktor, yaitu faktor tebal material, dimensi sumber, dan jarak sumber ke film. Dengan demikian untuk membuat suatu gambar radiografi faktor ketajaman film harus memenuhi syarat. Bila tidak ada syarat (spesifikasi), maka SFD minimum yang diambil adalah untuk $U_g = 0,02''$ (0,5 mm). Misalnya untuk Ir-192 :

$$D = 2 \text{ mm}$$

$$0,5 = \frac{2 \cdot t}{\text{SFD} - t}$$

$$0,5 (\text{SFD} - t) = 2t$$

$$\text{SFD} = \frac{2t + 0,5 t}{0,5} = 5t$$

Jadi SFD minimum = 5t

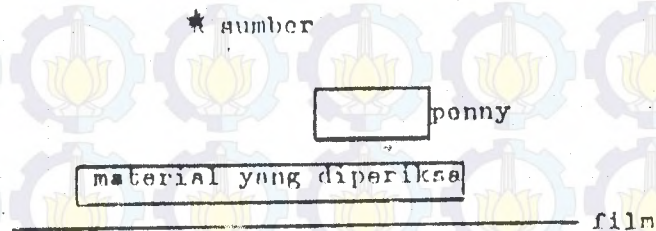
Tabel 3. Petunjuk pemilihan film radiografi

Material Thickness, in.	50 to 80 kV	80 to 120 kV	120 to 150 kV	150 to 250 kV	Iridium 192	250 to 400 kV	1 meV	Cobalt 60	2 meV	Ra- dium	6 to 31 meV
Steel											
0 to 1/8	3	3	2	1							
1/8 to 1/4	4	3	2	2		1					
1/4 to 1/2		4	3	2	2	2	1		1	2	
1/2 to 1				3	2	2	1	2	1	2	1
1 to 2				4	3	4	2	2	2	3	1
2 to 4						4	3	3	2	3	2
4 to 8											2
Over 8									3		
Aluminum											
0 to 1/8	1	1									
1/8 to 1/4	2	1		1							
1/4 to 1/2	2	1	1	1		1					
1/2 to 1	3	2	2	1	1	1					
1 to 2	4	3	2	2	1	2					
2 to 4		4	3	3	2	3					
4 to 8											
Over 8					4						
Bronze											
0 to 1/8	4	3	2	1	1	1	1				
1/8 to 1/4		3	2	2	2	1	1		1		
1/4 to 1/2		4	4	3	2	2	1	2	1	2	
1/2 to 1			4	4	3	3	1	2	1	2	1
1 to 2					3	4	2	3	2	1	1
2 to 4							3	3	2		2
4 to 8											2
Over 8									3		
Magnesium											
0 to 1/8	1	1									
1/8 to 1/4	1	1									
1/4 to 1/2	2	1	1		1						
1/2 to 1	2	1	1	1	1	1					
1 to 2	3	2	2	1	2						
2 to 4		3	2	2	3						
4 to 8											
Over 8					4						

* These recommendations represent a usually acceptable level of radiography. Optimum radiographic quality will be promoted by the lowest number film type which economic and technical considerations will allow. Voltages shown represent operating energies.

d. Pemilihan Penetrameter (penny).

Penetrameter diletakkan pada permukaan material yang akan diperiksa dan dekat dengan sumber radiasi pada daerah yang paling ekstrim.



Gb. 2.23 Letak penetrameter yang memenuhi syarat umum

Kalau penempatan penetrameter pada permukaan material (source side) tidak mungkin, maka dapat diletakkan pada permukaan lain dari material yang terpisah tapi sama kondisinya. Atau pun kalau cara ini tidak mungkin, maka penetrameter dapat diletakkan pada permukaan dalam (film side) dari material yang akan diperiksa, akan tetapi harus diberikan tanda (kode) yang menyatakan bahwa penetrameter tersebut ada pada film side.

Pemilihan tebal penetrameter terhadap tebal material yang akan diperiksa, kalau tak diberikan dalam spesifikasi, diambil pada umumnya 2% dari tebal material. Pada tabel 4 diunjukkan spesifikasi pemilihan penetrameter sesuai dengan ASME (5).

Tabel 4. Ketebalan material dan Identifikasi penetrameter

Material Thickness Range, in.	Penetrameter on Source Side, in.	Designation of Penetrameter	Essential Hole Designation & Diameter	Penetrameter on Film Side, in.	Designation of Penetrameter	Essential Hole Designation & Diameter
Up to $\frac{1}{4}$, incl.	0.010	10	4T 0.040	0.005	5	4T 0.020
Over $\frac{1}{4}$ thru $\frac{3}{8}$	0.012	12	4T 0.050	0.005	5	4T 0.020
Over $\frac{3}{8}$ thru $\frac{1}{2}$	0.015	15	4T 0.050	0.005	5	4T 0.020
Over $\frac{1}{2}$ thru $\frac{3}{4}$	0.015	15	4T 0.060	0.008	8	4T 0.035
Over $\frac{3}{4}$ thru 1	0.015	15	4T 0.060	0.009	9	4T 0.036
Over 1 thru $1\frac{1}{4}$	0.017	17	4T 0.070	0.010	10	4T 0.040
Over $1\frac{1}{4}$ thru $1\frac{1}{2}$	0.017	17	4T 0.070	0.010	10	4T 0.040
Over $1\frac{1}{2}$ thru 2	0.020	20	4T 0.080	0.015	15	4T 0.060
Over 2 thru $2\frac{1}{2}$	0.030	30	2T 0.060	0.017	17	4T 0.070
Over $2\frac{1}{2}$ thru 3	0.035	35	2T 0.070	0.017	17	4T 0.070
Over 3 thru 4	0.040	40	2T 0.080	0.017	17	4T 0.070
Over 4 thru 6	0.045	45	2T 0.090	0.020	20	4T 0.080
Over 6 thru 8	0.050	50	2T 0.100	0.030	30	2T 0.090
Over 8 thru 10	0.060	60	2T 0.120	0.035	35	2T 0.100
Over 10 thru 12	0.080	80	2T 0.160	0.045	45	2T 0.120
Over 12 thru 16	0.100	100	2T 0.200	0.060	60	2T 0.120
Over 16 thru 20	0.120	120	2T 0.240	0.060	60	2T 0.120
	0.160	160	2T 0.320	0.080	80	2T 0.160
	0.200	200	2T 0.400	0.080	80	2T 0.160

e. Filter, masking dan kolimator.

Filter (Pb) berfungsi untuk mengabsorbsi sinar-sinar pantulan yang akan mempengaruhi kualitas gambar radiografi. Makin bertambah tebal material yang akan diperiksa, maka sinar-sinar pantulan dari diri sendiri makin besar. Ini disebabkan adanya B (built) faktor, sehingga diperlukan adanya filter depan dan filter belakang.

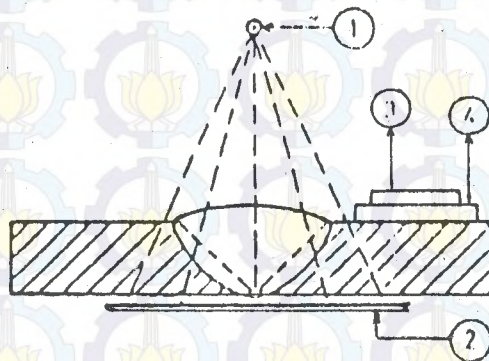
Masking berfungsi mengurangi adanya undercutting yang terdapat pada daerah material yang akan diperiksa. Sedangkan kolimator berfungsi untuk mengarahkan sinar radiasi ke satu arah saja sehingga sinar pantulan dari samping bisa dihilangkan.

f. Persiapan Set Up.

Harus diketahui terlebih dahulu tentang spesifikasi tingkat pemeriksaan. Dari spesifikasi ini didapat penggunaan sumber radiasi, SFD, film, screen, penetrameter

yang sesuai, sehingga akan menghasilkan gambar radiografi yang berkualitas.

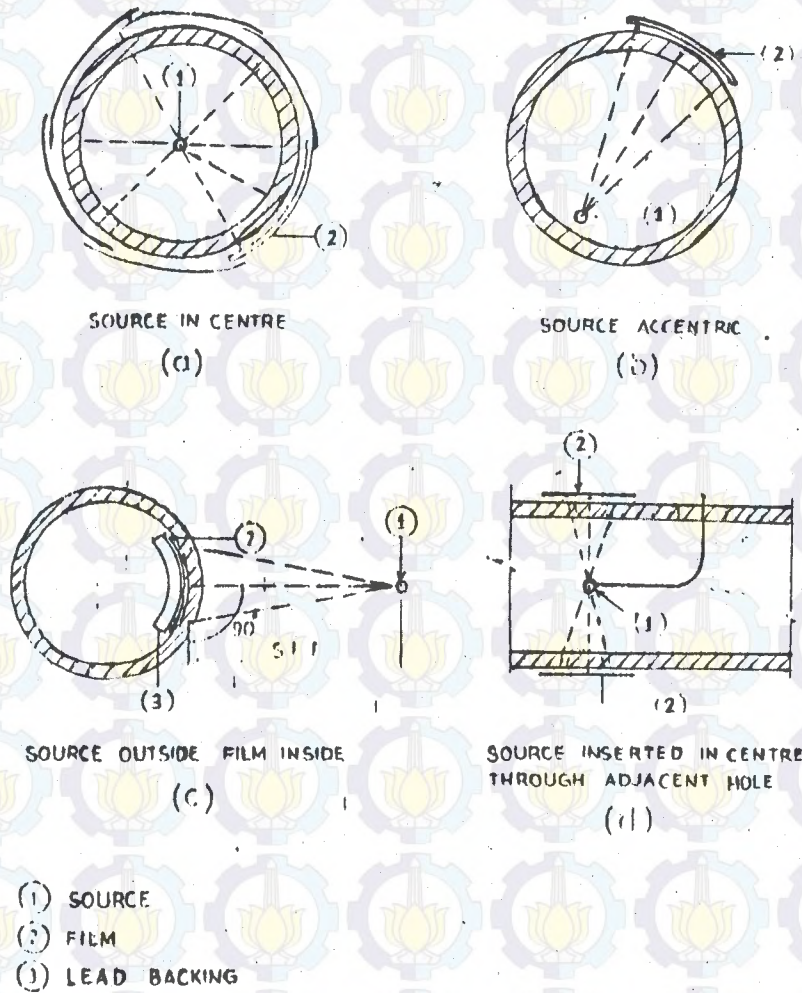
Bila spesimen adalah sebuah plat dengan las memanjang maka arah sinar radiasi harus tegak lurus pada plat tersebut, seperti tampak pada gambar 2.24. Untuk spesimen yang berupa las melingkar pada pipa maka proses penyinarannya bisa dijelaskan seperti gambar 2.25 dan 2.26.



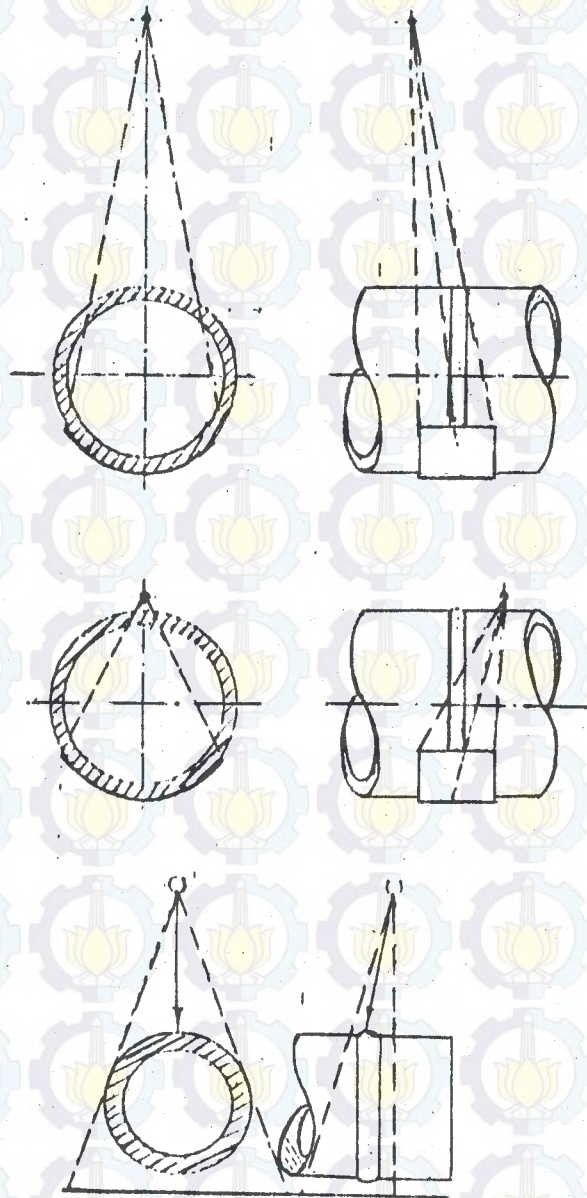
Gb. 2.24 Arah sinar radiasi pada sebuah plat

Keterangan :

1. Sumber
2. Film
3. Penetrameter
4. Shim



Gb. 2.25 Pengujian radiografi pada pipa dengan penetrasi tunggal



Gb. 2.26 Pengujian radiografi pada pipa dengan penetrasi ganda

2.2.8 Diskontinuitas pada Sambungan Pengelasan

Pengujian radiografi dapat menghasilkan bayangan diskontinuitas las-lasan baik dipermukaan maupun di bawah permukaan, bila terdapat perbedaan density yang cukup dari base metal dan dalam ketebalan paralel terhadap radiasi(3).

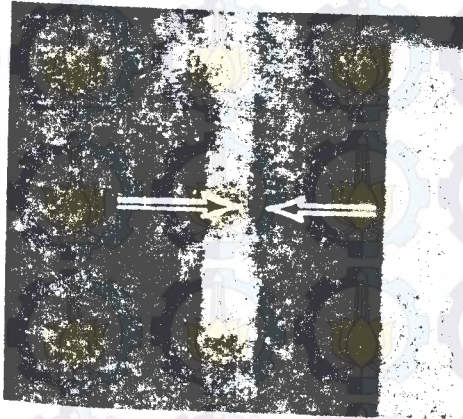
Slag inclusion biasanya berupa bentuk yang tidak teratur dari daerah yang gelap, dan tampak memiliki beberapa luasan. Inclusion sering dijumpai pada interface dari las-lasan seperti pada gambar 2.27 dan terjadi di antara pass-pass pengelasan. Tungsten Inclusion tampak sebagai titik-titik putih.

Porositas (lubang gas) tampak seperti lubang kosong yang terbaca sebagai titik-titik gelap dengan kekontrasan radiografi bervariasi tergantung diameternya. Porositas bisa menyebar, berkelompok atau sering juga lurus terhadap centerline dari fusion zone. Contoh porositas ada pada gambar 2.28.

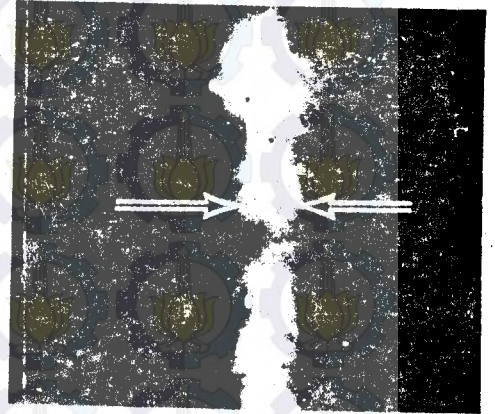
Crack sering tak tampak bila kecil atau tidak lurus dengan arah radiasi. Dalam radiografi crack tampak sebagai garis gelap sesuai dengan panjangnya tetapi tanpa lebar yang besar. Crack dalam las-lasan bisa transversal, longitudinal, dalam fusion zone, atau pada daerah terpengaruh panas. Lihat gambar 2.29 dan gambar 2.30.

Incomplete fusion tampak sebagai perpanjangan dari garis gelap atau melengkung. Incomplete fusion sering terjadi antara logam las dan base atau antara pass-pass pengelasan. Sedangkan incomplete penetration tampak seperti garis hitam pada suatu pusat pengelasan, seperti gambar 2.31.

Undercutting tampak sebagai daerah gelap yang bervariasi lebarnya sepanjang ujung dari fusion zone, seperti pada gambar 2.32. Density kegelapannya menunjukkan kedalaman undercut.

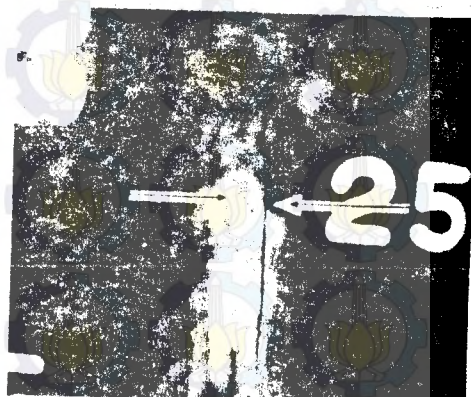


Gb. 2.27 Slag yang memanjang
pada pengelasan



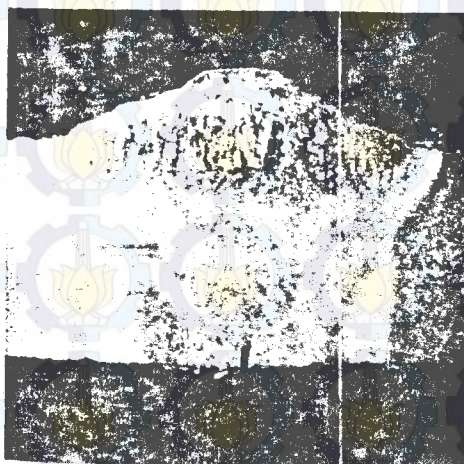
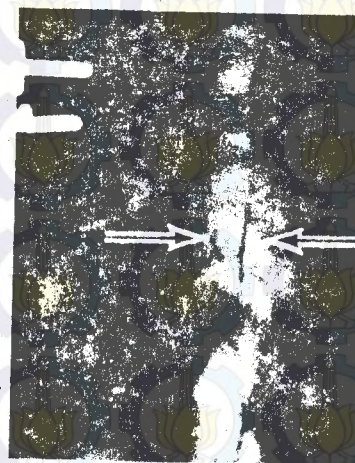
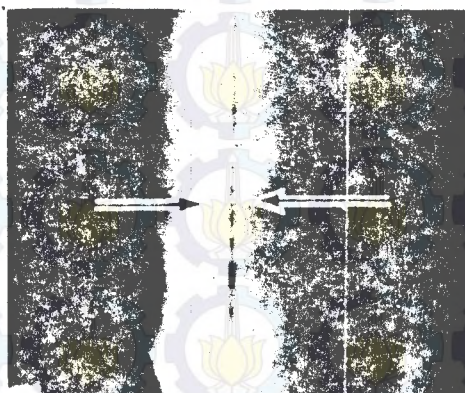
Gb. 2.28 Porositas pada
weld metal





Gb. 2.29 Crack melintang dalam pengelasan

Gb. 2.30 Crack memanjang pada daerah terpengaruh panas



Gb. 2.31 Incomplete penetration
dalam pengelasan

Gb. 2.32 Undercut pada
akar las

2.3 Pengujian Ultrasonic

Getaran ultrasonic adalah getaran suara biasa, hanya berbeda frekwensinya, yaitu lebih besar dari 20 KHz. Getaran ini dihasilkan oleh probe atau transducer yang mempunyai kristal Piezoelectric yang berfungsi merubah energi listrik menjadi energi mekanik atau sebaliknya(8).

Dengan metode transmisi, metode gema maupun metode resonansi maka keadaan bahan yang dilalui oleh getaran ultrasonic dapat diketahui, baik tebal maupun ada tidaknya cacat dalam bahan tersebut. Tebal bahan maupun letak cacat diukur berdasarkan pengukuran waktu, sedangkan besarnya cacat diukur berdasarkan kekuatan dan intensitas getaran yang diterima oleh probe.

Adapun cacat-cacat yang mudah diperiksa dengan getaran ultrasonic adalah cacat-cacat yang permukaannya tegak lurus terhadap arah rambatan getaran, sedang bila permukaannya tidak tegak lurus terhadap arah rambatan lebih sukar diketahui. Cacat-cacat yang permukaannya sejajar arah getaran mungkin sama sekali tidak terlihat, karenanya dibuat probe-probe yang dapat mengeluarkan getaran yang arah rambatannya membuat sudut terhadap permukaan bahan yang diuji.

2.3.1 Getaran Ultrasonik

Seperti pada getaran suara maka getaran ultrasonik yang mempunyai besaran-besaran seperti panjang gelombang, kecepatan, frekuensi, waktu getar, amplitudo, fasa dan sebagainya serta menurut hukum pemantulan, penyerapan dan pembiasan. Bila suara mempunyai antara 20 Hz sampai 20 KHz maka getaran ultrasonik mempunyai frekuensi lebih besar dari 20 KHz. Biasanya frekuensi yang dipakai untuk pengujian antara 250 KHz sampai 15.000 KHz.

Karena penyerapan maka kekuatan getaran ultrasonik berkurang selama perambatan dalam bahan, sedangkan besarnya sudut pantulan sama dengan sudut datang. Bila

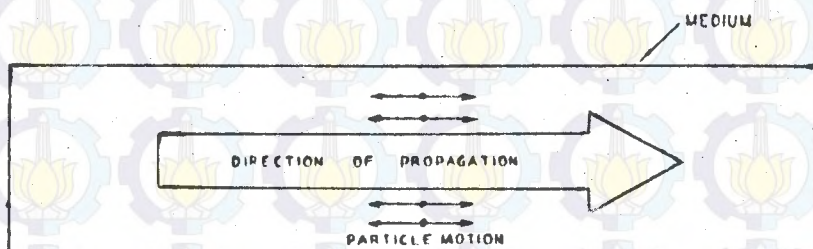
melalui dua bahan yang berbeda maka akan terjadi pembiasan mendekati atau menjauhi bidang normal.

a. Perambatan.

Perambatan getaran ultrasonik dapat dijelaskan sebagai uraian berikut ini. Materi digambarkan sebagai atom-atom yang saling terikat melalui pegas. Bila ujung kiri dipukul maka atomnya akan mendorong atom di sebelahnya dan seterusnya, kemudian akan kembali ke kedudukan semula setelah bergetar beberapa kali. Dari cara perambatannya dikenal dua macam getaran yaitu getaran longitudinal dan getaran transversal.

1. Getaran longitudinal (Pressure wave)

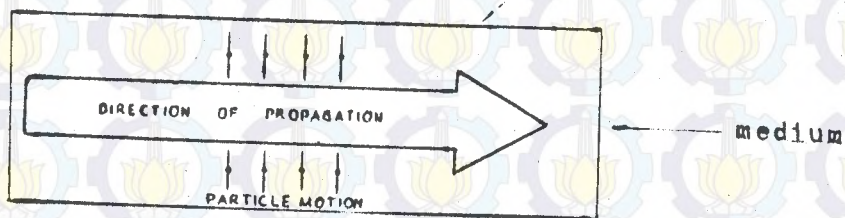
Merupakan getaran yang mempunyai arah rambatan sejajar dengan arah getarannya. Kecepatan dan panjang gelombangnya tergantung pada macam bahan yang dilaluinya.



Gb. 2.33 Getaran longitudinal

2. Getaran transversal (shear wave)

Yaitu getaran yang arah rambatannya tegak lurus terhadap arah getaran. Pada getaran ini kecepatan dan panjang gelombangnya tergantung pada bahan yang dilaluinya.

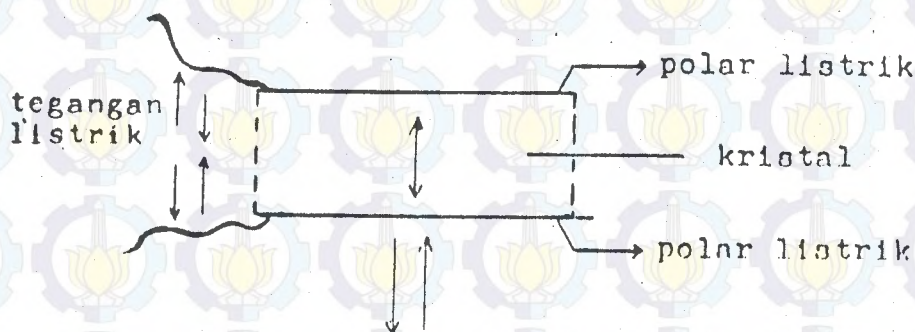


Gb. 2.34 Gelombang transversal

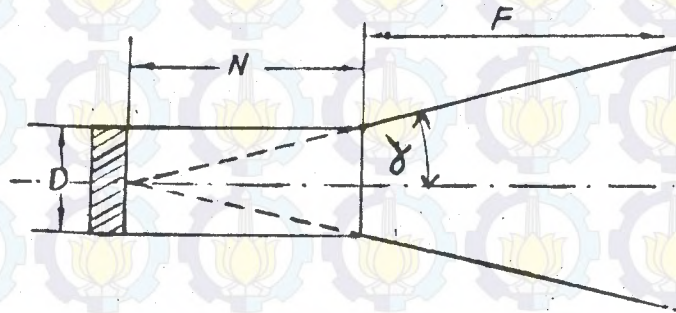
b. Sumber getaran.

Getaran ultrasonik yang dipakai dalam pengujian tidak merusak bersumber pada getaran mekanik yang misalnya berasal dari kristal piezoelectric, yang mempunyai fungsi merubah getaran listrik menjadi getaran mekanik dan sebaliknya.

Bila kristal tersebut diberikan tegangan listrik maka kristal akan bergetar dengan frekuensi yang tergantung pada dimensi kristal. Sedangkan amplitudo tergantung pada besarnya tegangan yang diberikan pada kristal tersebut.



Gb. 2.35 Sumber getaran ultrasonik



Gb. 2.36 Geometri getaran ultrasonik yang keluar dari probe

Getaran yang keluar dari probe akan menyebar ke semua arah tetapi amplitudo terbesar terletak pada arah sumbu kristal. Batas pada gambar 2.36 menunjukkan batas kekuatan atau amplitudo 10% dari amplitudo pada arah sumbu kristal. Jadi pada jarak N dari permukaan kristal seolah-olah getaran tidak menyebar dan selebihnya menyebar dengan sudut terhadap sumbu.

$$N = \frac{D^2 \cdot f}{4 \cdot C} \dots \dots \dots (6)$$

$$\sin \gamma = \frac{C}{D \cdot f} \dots \dots \dots (7)$$

dengan :

D = Diameter kristal

C = Konstanta

f = Frekuensi

F = Far field

N = Near field

Dalam jarak N maka besar cacat tidak dapat diukur secara teliti karena pengaruh interferensi yang sangat kuat.

2.3.2 Metode Pengukuran

a. Metode transmisi.

Dalam metode ini dipakai dua probe yang saling berhadapan dan bahan yang diukur diletakkan di antara kedua probe tersebut. Salah satu probe bekerja sebagai pemancar dan lainnya sebagai penerima. Agar lebih jelas

lihat gambar 2.37.



Gb. 2.37 Metode transmisi

Dengan metode ini dapat diukur :

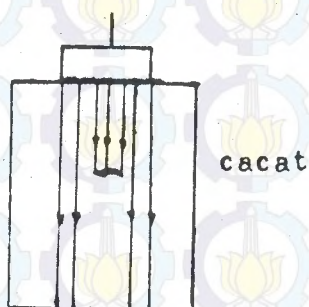
1. Tebal bahan yaitu dengan mengukur selisih waktu antara saat pemancaran dan saat penerimaan.
2. Cacat dalam bahan, bila bahan homogen maka getaran akan diterima 100% sedangkan bila ada cacat maka penerimaan kurang dari 100%.

Kesulitan metode ini ialah cara penempatan kedua probe.

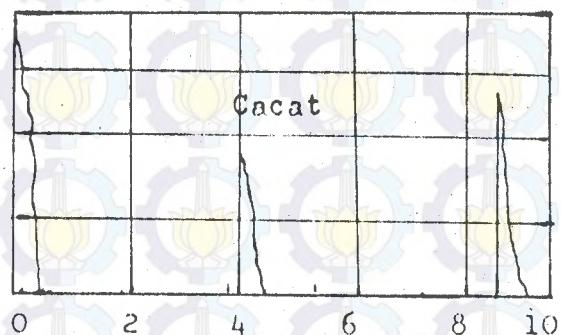
b. Metode gema.

Kesulitan di atas dapat diatasi karena dengan metode ini hanya dipakai satu probe yang secara bergantian bekerja sebagai pemancar dan kemudian penerima. Dengan metode ini dapat diukur :

1. Tebal bahan.
2. Cacat bahan, baik letak maupun besarnya.



layar CRT



Gb. 2.38 Metode gema

c. Metode resonansi.

Metode ini digunakan bila material atau bahan yang diuji mempunyai ketebalan sama dengan setengah panjang gelombang atau kelipatannya. Panjang gelombang bisa divariasikan dengan merubah-ubah frekuensi. Frekuensi resonansi dasar menandakan bahan uji akan beresonansi. Persamaan untuk menentukan frekuensi resonansi dasar :

$$f = \frac{V}{2 \cdot t} \dots \dots \dots (8)$$

dengan :

f = Frekuensi resonansi dasar

V = Kecepatan gelombang

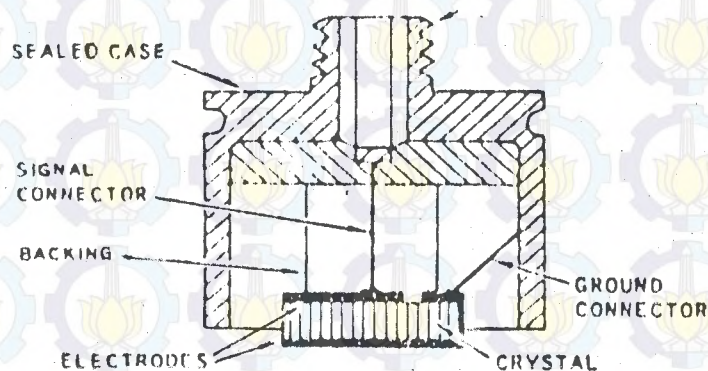
t = Ketebalan bahan

2.3.3 Probe

Menurut penggunaannya probe dibedakan menjadi 3 jenis yaitu probe normal, sudut dan TR.

a. Probe normal.

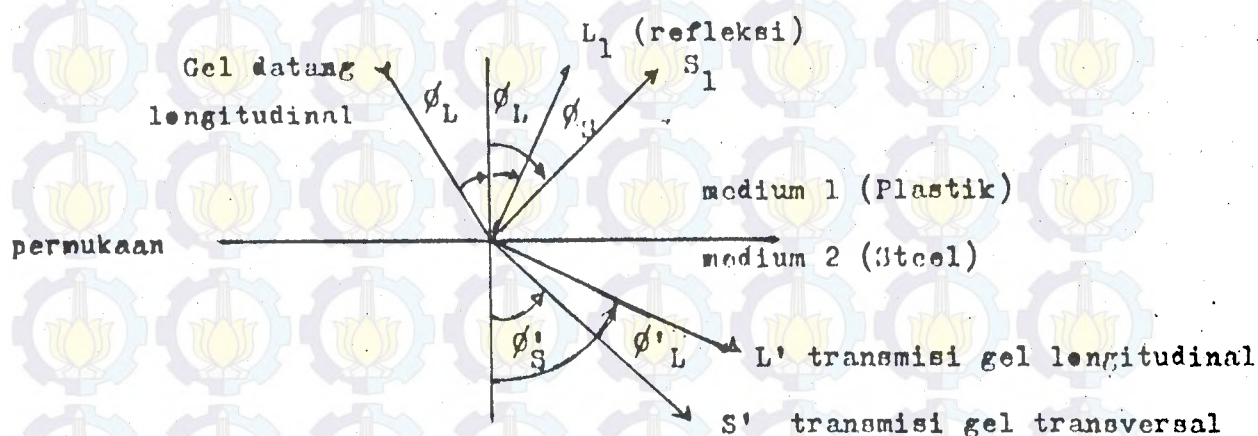
Getaran yang keluar dari probe normal adalah getaran longitudinal yang masuk ke dalam bahan uji dengan arah tegak lurus permukaan. Probe tipe ini digunakan untuk mengukur tebal bahan dan mencari letak serta besarnya cacat-cacat yang sejajar permukaan bahan. Kode probe antara lain B45N, NB45N, Q25N.



Gb. 2.39 Probe normal

b. Probe sudut.

Probe sudut memancarkan getaran transversal. Dengan menggunakan prinsip snellius, bila getaran ultrasonik merambat dalam medium 1, menumbuk permukaan medium 2 dengan sudut θ_L terhadap garis normal maka sebagian getaran dipantulkan dan sebagian lagi ditransmisikan ke medium 2 (lihat gambar 2.40).



Gb. 2.40 Dasar transmisi sudut dari hukum snellius

$$\frac{\sin \theta_L}{CL} = \frac{\sin \theta'_L}{CL'} = \frac{\sin \theta_S}{CS'} \dots \dots \dots (9)$$

dengan :

θ_L : Sudut datang dari gelombang longitudinal, medium 1.

θ'_L : Sudut transmisi dari getaran gelombang longitudinal, medium 2.

θ_S : Sudut datang dari gelombang transversal, medium 1.

θ'_S : Sudut transmisi dari getaran gelombang transversal, medium 2.

CL : Kecepatan getaran gelombang longitudinal, medium 1.

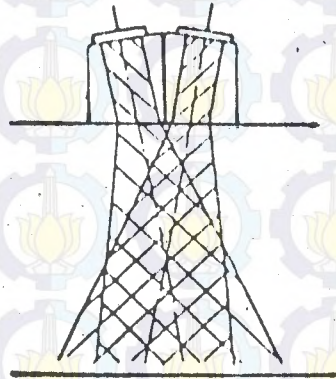
CL' : Kecepatan getaran gelombang longitudinal, medium 2.

C_s : Kecepatan getaran gelombang transversal, medium 2.

Dari sini getaran gelombang transversal dan longitudinal terjadi pada medium 2, sudut refraksi dari getaran gelombang longitudinal lebih besar dari getaran gelombang transversal dalam segala keadaan/kejadian.

c. Probe TR.

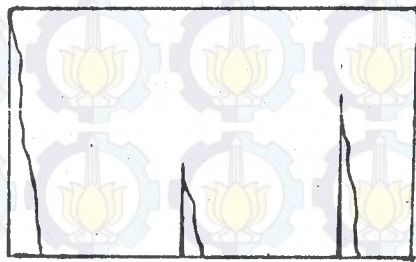
Probe TR terdiri dari 2 kristal yang satu berfungsi sebagai pemancar dan yang satu lagi berfungsi sebagai penerima. Prinsip kerja probe TR sama dengan probe normal, dan mempunyai fungsi paling baik untuk mengukur ketebalan di bawah 10 mm.



Gb. 2.41 Probe TR

2.3.4 Hubungan antara Macam Cacat dengan Informasi dari Presentasi Cacat

a. Penunjukkan A-Scan.



Gb. 2.42 Layar CRT

Garis horisontal pada CRT menunjukkan waktu yang telah ditempuh (dari kiri ke kanan), dan defleksi vertikal menunjukkan signal amplitude. Kecepatan gelombang ultrasonik dalam bahan contoh dapat dikalibrasi secara langsung tergantung jarak dan dalamnya cacat.

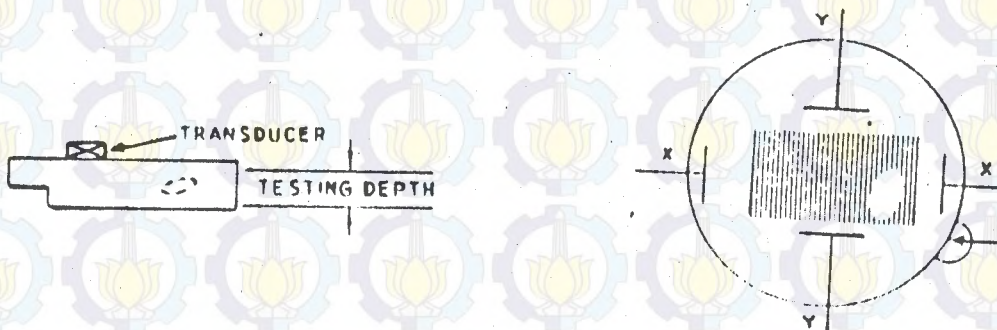
b. Penunjukkan B-Scan.



Gb. 2.43 B-Scan

Penunjukkan B-Scan digunakan untuk mengetahui berapa luas/lebar cacat dalam penampang melintang.

c. Penunjukkan C-Scan.



Gb. 2.44 C-Scan

Penunjukkan C-Scan untuk mengetahui distribusi cacat dalam seluruh bahan.

2.3.5 Couplant dalam Ultrasonik

Dalam bekerja dengan ultrasonik maka faktor permukaan benda adalah penting maka untuk mendapatkan sensitivity yang baik, perlu menyiapkan permukaan benda yang diperiksa. Di samping hal tersebut diatas maka faktor kerusakan probe perlu diperhatikan. Pada permukaan yang kasar probe akan cepat aus dan rusak.

Jadi pada benda yang akan diperiksa harus dibersihkan permukaannya dari kotoran (pasir, karat, dll) dengan menggunakan lap atau sikat besi. Kadang-kadang untuk lebih efektifnya digunakan scraper atau gerinda untuk menghilangkan cacat dan karat.

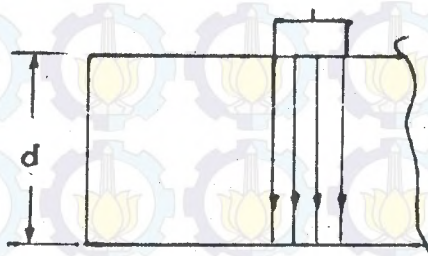
Dalam menggunakan bahan couplant, disyaratkan seperti berikut :

- Tidak beracun.
- Tidak membuat berkarat pada benda yang diperiksa.
- Mudah dibersihkan pada benda yang diperiksa.
- Murah.

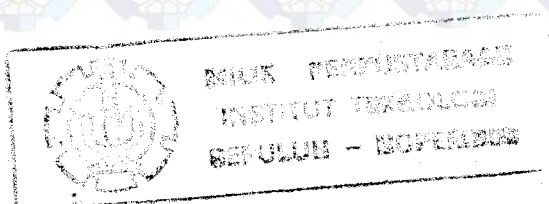
2.3.6 Teknik Kalibrasi

Pada pengujian secara ultrasonik tidak mungkin dibenarkan tanpa menggunakan standart. Kita baru diperkenankan melakukan pengujian apabila kalibrasi range (jarak jangkau) yang kita kehendaki telah diyakinkan kebenarannya dengan cara kalibrasi terhadap range tersebut pada standart.

a. Kalibrasi probe normal.



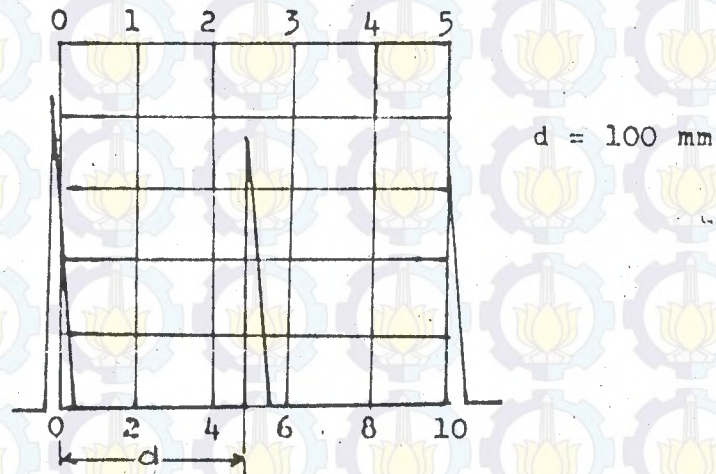
Gb. 2.45 Kalibrasi probe normal dengan blok standart V_1



Tipe probe : 4 MHz dengan quartz ossilation.

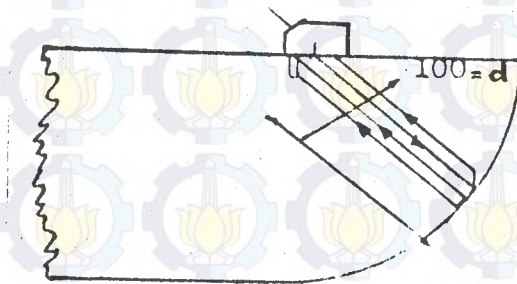
Range : 0 - 200 mm, steel.

Tes blok : V_1 yang menimbulkan echo (pulsa) pada kedalaman 100 dan 200 mm. Berarti sesuai dengan ketebalan test block (V_1) yaitu 100 mm



Gb. 2.46 Penunjukkan pada layar CRT dari kalibrasi probe normal dengan blok standart V_1

b. Kalibrasi probe yang bersudut.



Gb. 2.47 Posisi probe sudut terhadap blok standart V_1

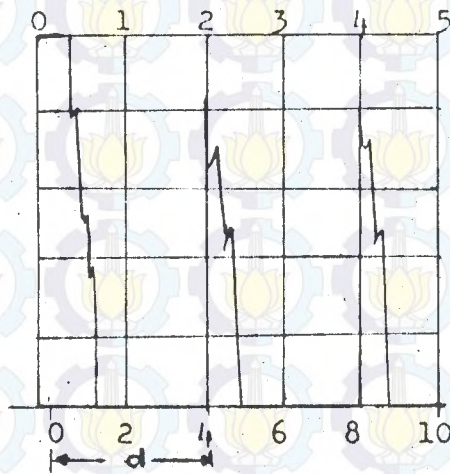
Tipe probe : W045 atau MWB45.

Jari-jari tes blok : 10 cm.

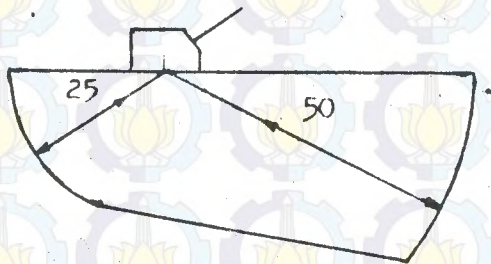
Range : 0 - 250 mm.

Jarak (d) pulsa pertama sebesar 100 mm.

Pulsa pertama pada skala 4 pada layar CRT

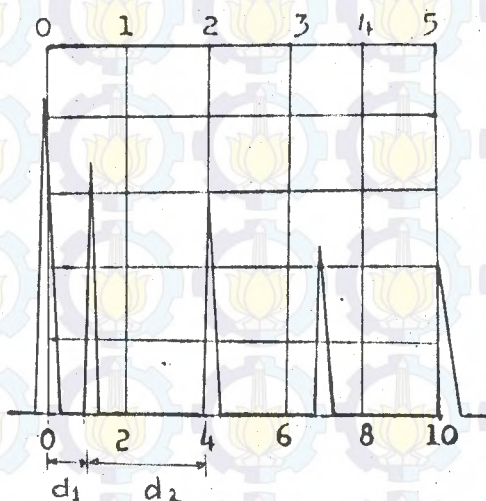


Gb. 2.48 Penunjukkan pada layar CRT dari kalibrasi probe bersudut terhadap blok standar V_1



Gb. 2.49 Posisi probe bersudut terhadap blok standar V_2

Tipe : MWB45
 Jari-jari tes blok : 25 mm dan 50 mm
 Jarak d_1 (pulsa pertama) : 25 mm
 Jarak d_2 (pulsa kedua) : $(25 + 50) = 75$ mm
 Range yang dipakai : 0 – 250 mm
 d_1 adalah jarak dari titik 0 sampai dengan skala 1 pada layar CRT.
 d_2 adalah jarak dari titik 0 sampai dengan skala 4 pada layar CRT



Gb. 2.50 Penunjukkan pada layar CRT dari kalibrasi probe bersudut terhadap blok standart V2

c. Kalibrasi probe TR.



Gb. 2.51 Kalibrasi TR probe

Untuk kalibrasi probe TR dipergunakan dua specimen dengan ketebalan yang berbeda.

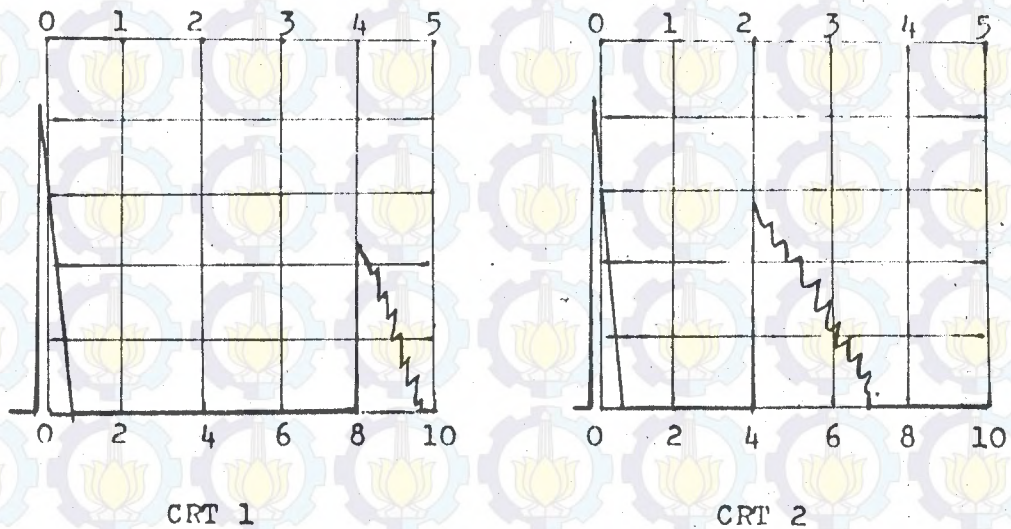
Terlihat pada layar CRT 1 :

- Range yang dipakai 0 - 10 mm.
- Pulsa pertama menunjukkan specimen dengan ketebalan 8 mm (skala 8).

Terlihat pada layar CRT 2 :

- Range yang dipakai 0 - 10 mm.
- Pulsa pertama menunjukkan specimen dengan ketebalan 4 mm (skala 4).

Dengan mengatur pulsa pada layar CRT pada kedudukan 8 dan 4 maka pesawat ultrasonik telah terkalibrasi dengan probe CRT.



Gb. 2.52 Penunjukkan kalibrasi TR probe pada layar CRT

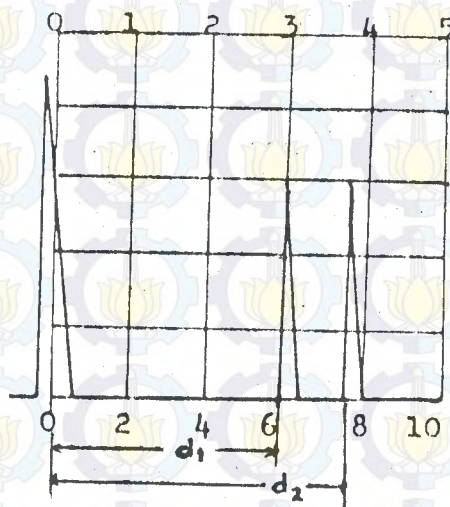
2.3.7 Pengukuran dengan Normal Probe

Posisi probe terhadap benda yang diperiksa.



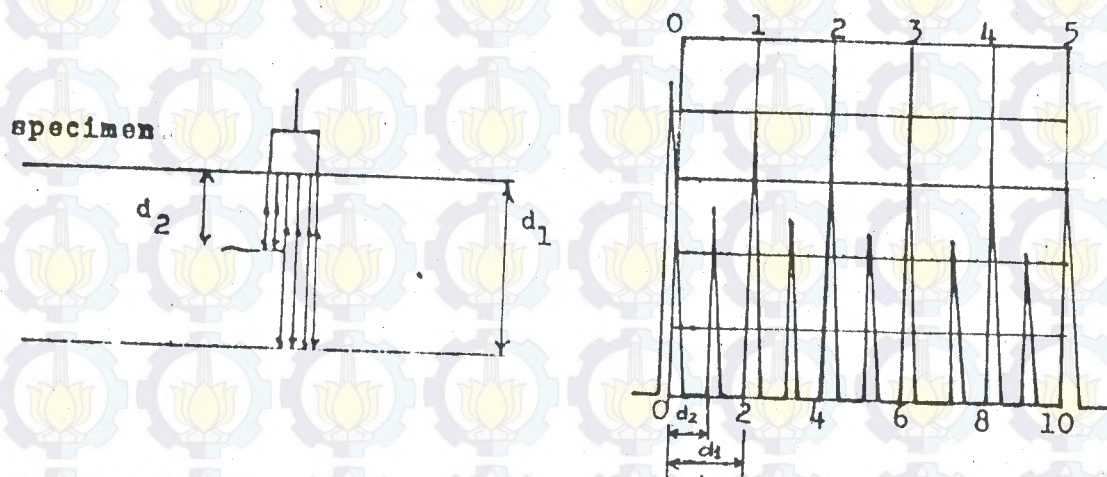
Gb. 2.53 Pengukuran dengan normal probe

Pulsa pertama yang ditunjukkan layar CRT menunjukkan ketebalan d_1 dari specimen, sedangkan pulsa kedua menunjukkan ketebalan d_2 dari specimen.



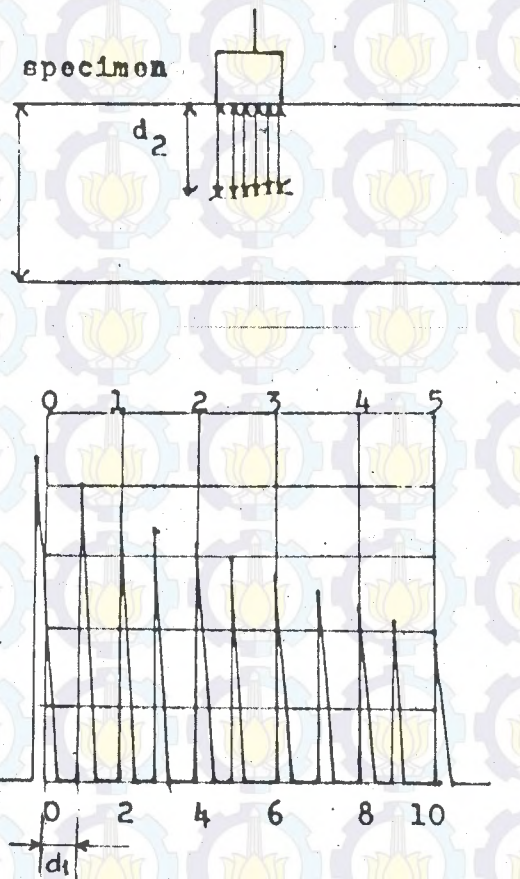
Gb. 2.54 Penunjukkan pada layar CRT

Pada specimen dengan jarak d_2 dari permukaan, maka tebal specimen adalah d_2 . Terlihat pada layar CRT, pulsa pertama yang peaknya lebih pendek (sama dengan jarak d_2), dan pulsa yang kedua menunjukkan jarak d_1 .



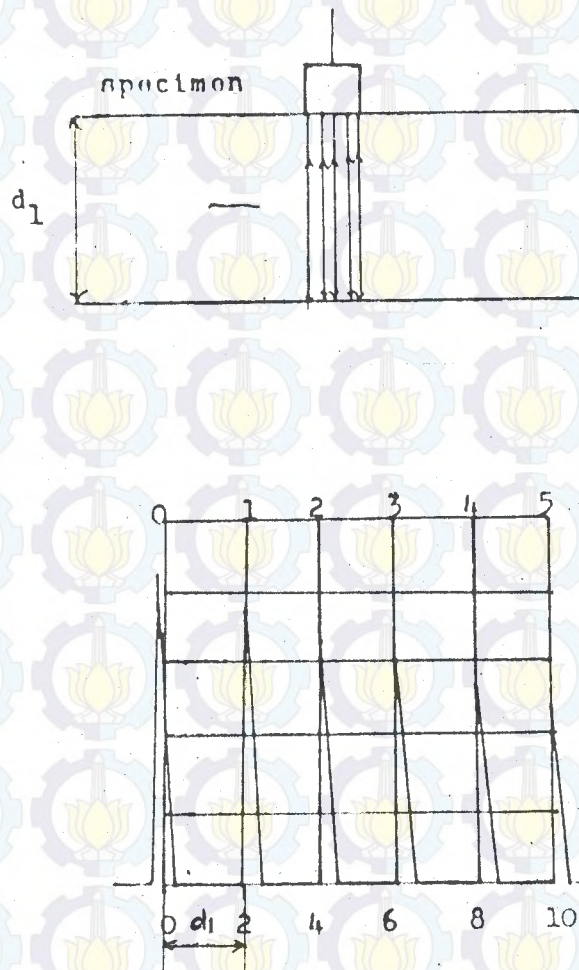
Gb. 2.55 Pengukuran dengan normal probe pada specimen yang terdapat cacat dan penunjukannya di layar CRT

Jika pada specimen terdapat cacat yang panjang maka semua gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh probe akan mengenai cacat tersebut. Akibatnya pada layar CRT terlihat, untuk jarak d_1 tidak terlihat, yang dapat dilihat adalah jarak d_2 .



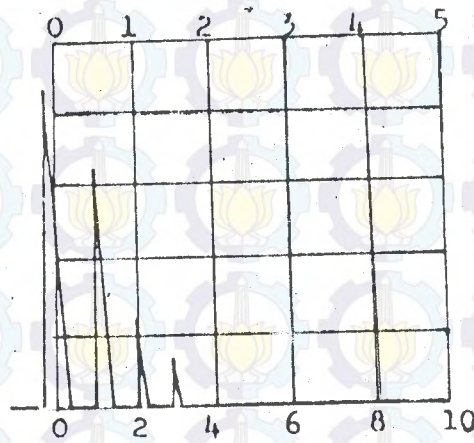
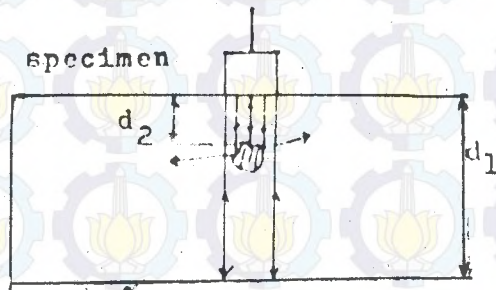
Gb. 2.56 Pengukuran dengan normal probe pada specimen yang cacatnya panjang dan penunjukkannya di layar CRT

Apabila probe tidak mengenai cacat pada specimen, yang terukur adalah ketebalan specimen tersebut. Pada layar CRT menunjukkan pulsa pertama adalah ketebalan specimen.



Gb. 2.57 Pengukuran dengan normal probe yang tak mengenai cacat dan penunjukkannya di layar CRT

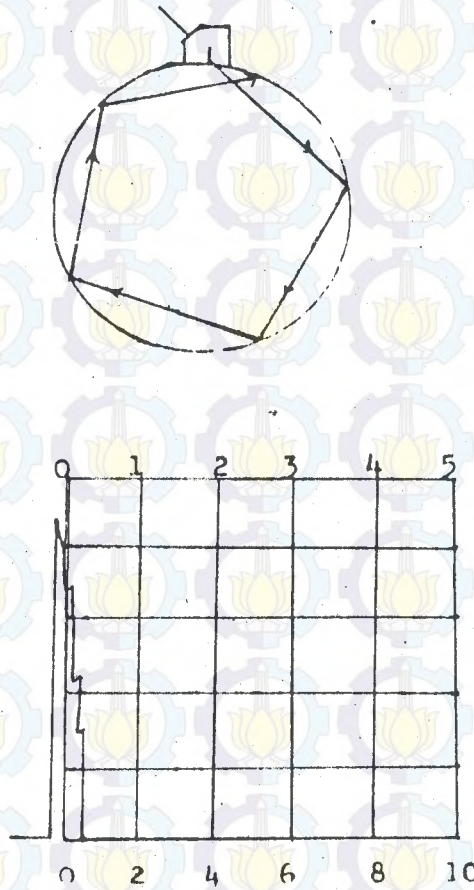
Pada specimen terdapat cacat yang bentuknya tak teratur, maka tak semua gelombang ultrasonik yang dipantulkan dapat diterima kembali oleh probe penerima sehingga pulsa yang ditunjukkan layar CRT makin lama makin lemah/kecil.



Gb. 2.58 Pengukuran dengan normal probe pada specimen dengan cacat yang tak teratur dan penunjukannya di layar CRT

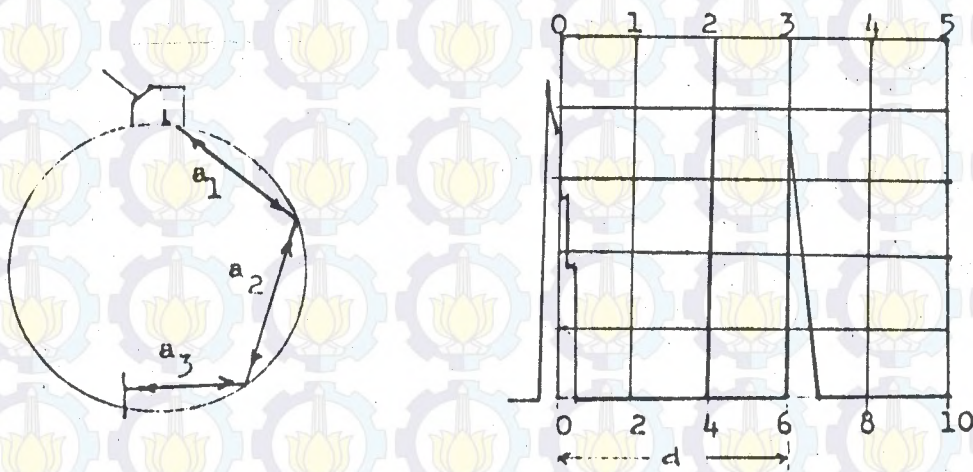
2.3.8 Pengukuran dengan Probe Sudut

Probe yang dipakai tipe MWB 45. Specimen berbentuk bulat dan tak terdapat cacat sehingga tidak terlihat pulsa cacat pada layar CRT. Dengan probe ini tak dapat mendeteksi cacat yang di tengah specimen, hal ini hanya bisa dilakukan dengan memakai probe normal.



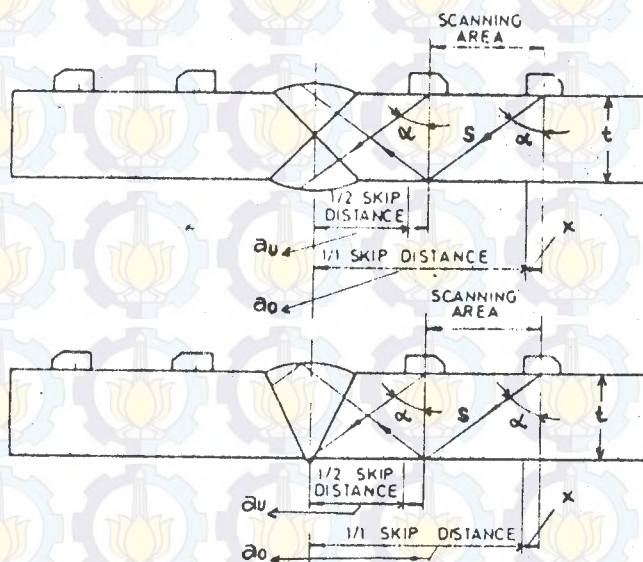
Gb. 2.59 Pengukuran dengan probe sudut pada specimen bulat yang tidak cacat dan penunjukkannya pada layar CRT

Jika pada specimen terdapat cacat maka di layar CRT akan terlihat bahwa jarak $d = a_1 + a_2 + a_3$ (sama dengan skala 6 pada layar CRT)



Gb. 2.60 Pengukuran dengan probe sudut pada specimen bulat yang bercacat dan penunjukkannya di layar CRT

2.3.9 Teknik Pemeriksaan Las



Gb. 2.61 Teknik pemeriksaan las

$$a_u = t \cdot \tan \alpha - x$$

$$a_o = 2t \cdot \tan \alpha - x$$

$$S = \frac{t}{\cos \alpha} \dots\dots (10)$$

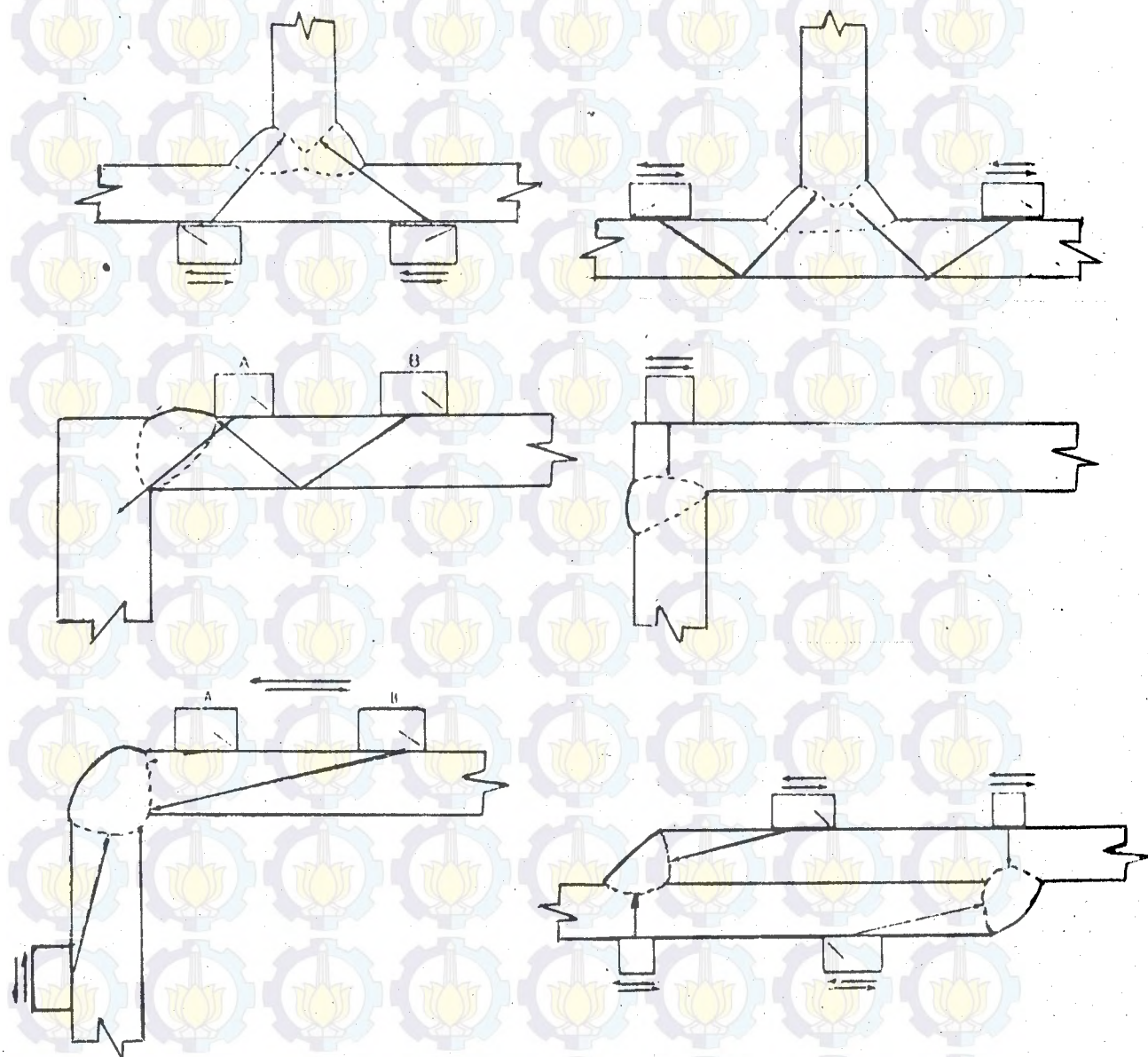
dengan :

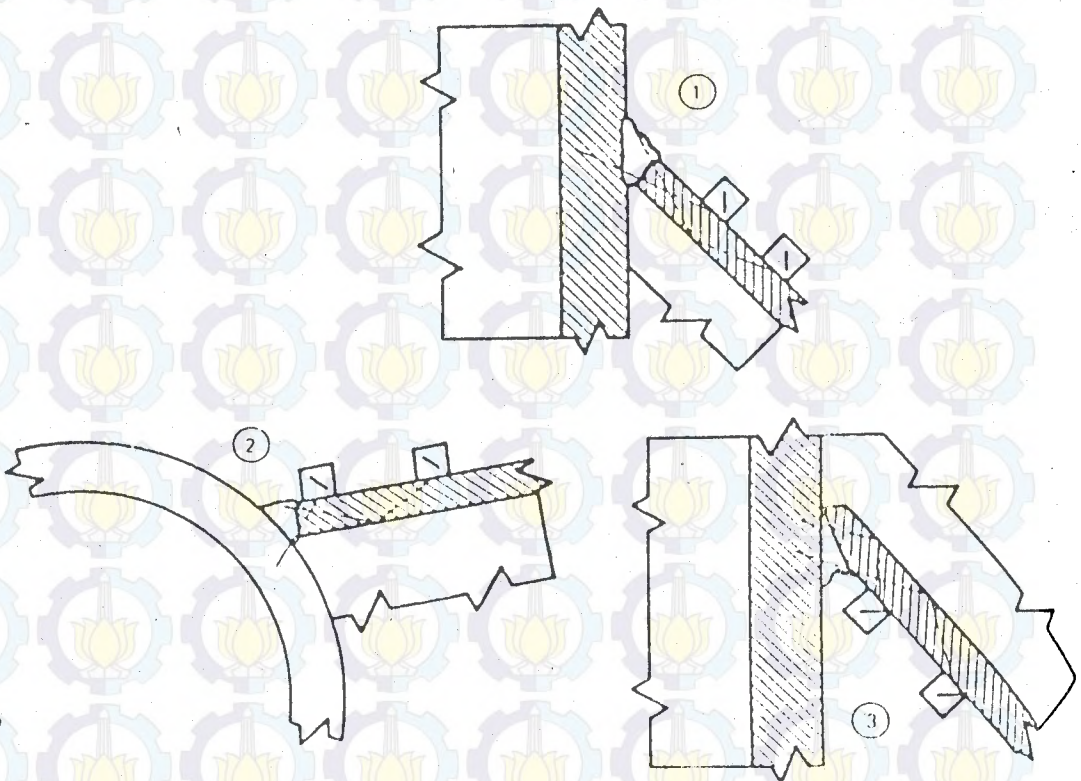
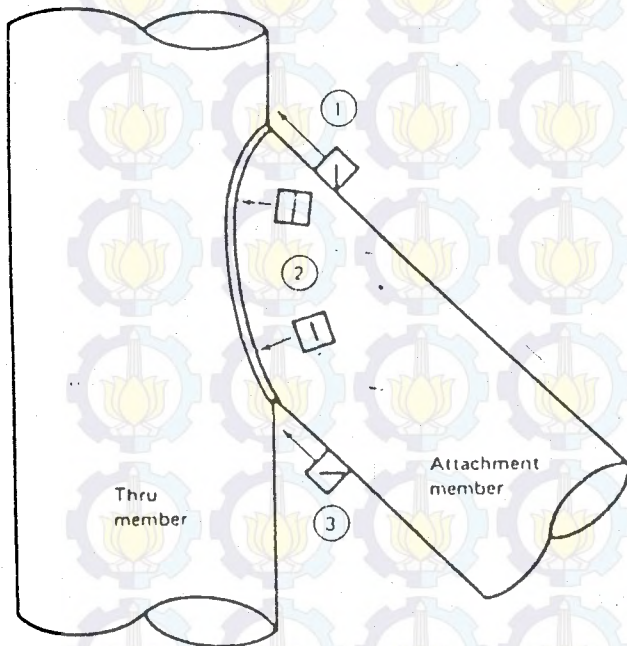
t = Tebal material

x = Jarak antara titik pancaran
sampai ujung probe

S = Sound path

Teknik pemeriksaan ultrasonik pada berbagai macam sambungan las terdapat pada gambar 2.62 berikut ini.





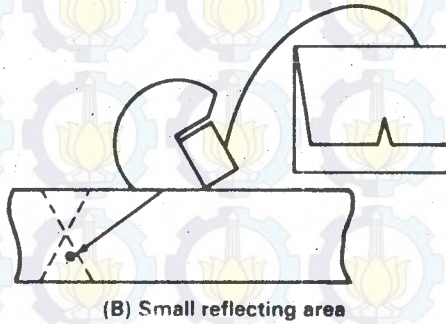
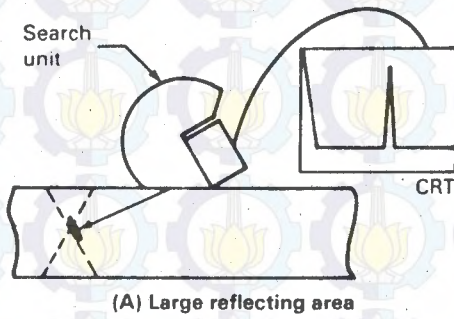
Gb. 2.62 Teknik pemeriksaan pada berbagai macam sambungan las

2.3.10 Evaluasi Diskontinuitas Pengelasan.

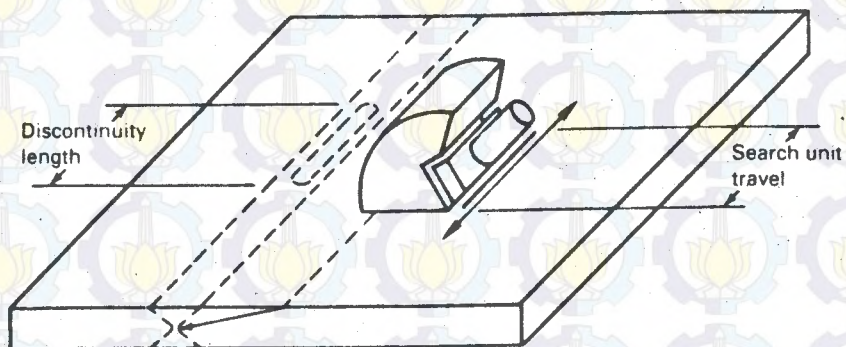
Kepercayaan pengujian ultrasonik banyak tergantung kepada kemampuan penafsiran orang yang melakukan pengujian. Dengan menggunakan teknik pengujian yang sesuai, informasi penting tentang diskontinuitas dapat dipelajari dari sinyal response dari gambar pada layar CRT(3).

Ada enam point dasar yang akan memberikan informasi dari kemampuan pengujian ultrasonik dalam mendeteksi diskontinuitas pengelasan. Point-point tersebut adalah :

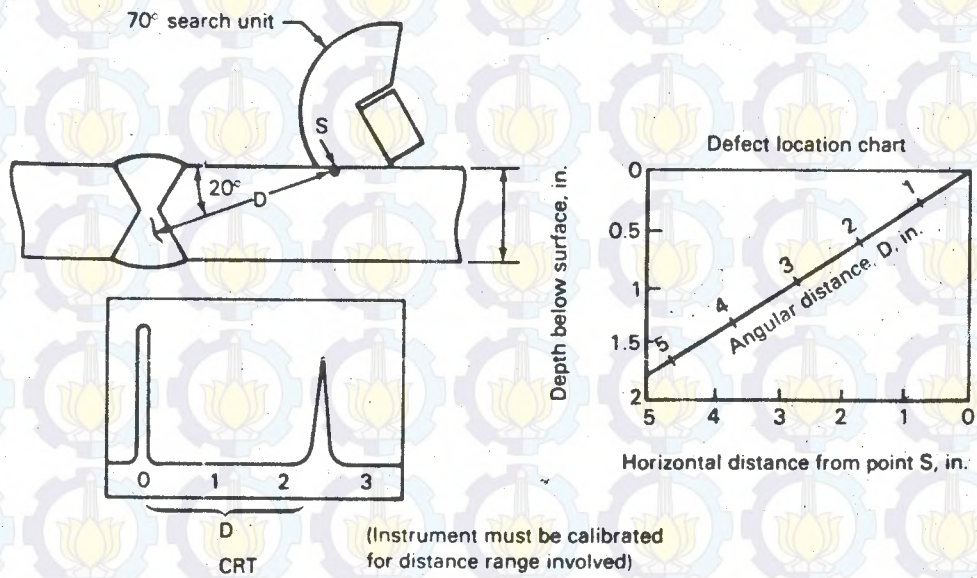
1. Amplitudo sinyal yang dikembalikan adalah pengukuran terhadap daerah yang terreflesi (lihat gambar 2.63).
2. Panjang diskontinuitas didapatkan dengan menggerakkan probe ke arah memanjang (lihat gambar 2.64).
3. Lokasi diskontinuitas pada bagian melintang las-lasan dapat diukur dengan teliti (lihat gambar 2.65).
4. Orientasi bentuk diskontinuitas dapat ditentukan dengan membandingkan ukuran sinyal yang didapat dari pengujian dua sisi (lihat gambar 2.66).
5. Bentuk pulsa pantulan dan pelenyapannya dapat digunakan sebagai pertanda tipe diskontinuitas (lihat gambar 2.67).
6. Tinggi diskontinuitas dalam pengelasan dapat diukur dari jarak gerakan probe ke atau dari las-lasan dengan naik-turunnya sinyal (lihat gambar 2.68).



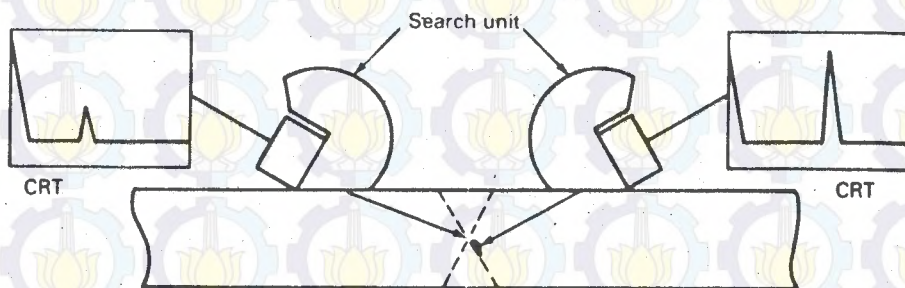
Gb. 2.63 Ukuran daerah yang terpantulkan



Gb. 2.64 Panjang diskontinuitas



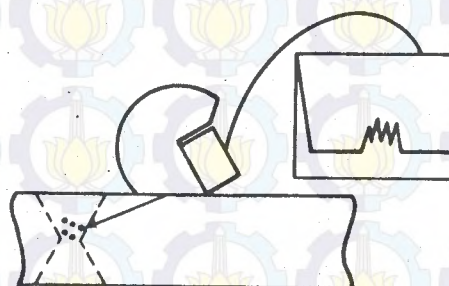
Gb. 2.65 Lokasi diskontinuitas pada bagian melintang dari weld metal



Gb. 2.66 Orientasi diskontinuitas

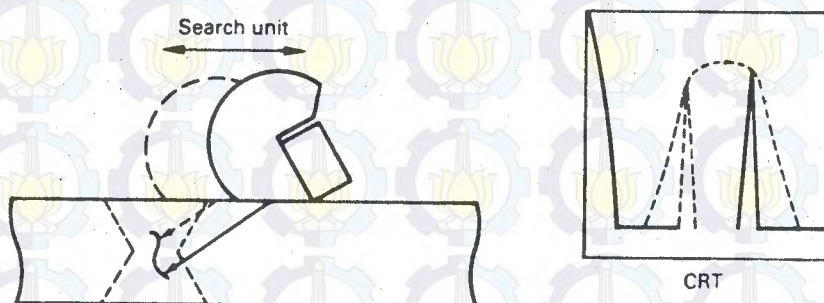


(A) Single flat discontinuity



(B) Cluster of discontinuities

Gb. 2.67 Tipe diskontinyuitas



Gb. 2.68 Tinggi diskontinyuitas

2.4 Pengujian dengan Serbuk Magnet

Metode serbuk magnet adalah salah satu metode pengujian tidak merusak dengan melokasi diskontinuitas permukaan dan di bawah permukaan dalam bahan feromagnetik. Metode ini hanya dapat dipakai untuk jenis bahan yang dapat termagnetisasi seperti besi, baja, dan alloy(9).

2.4.1 Prinsip Dasar

Teknik magnetik untuk mendeteksi retak didasarkan pada suatu fakta, apabila benda mempunyai retak dan dimagnetisasi, akan terjadi kebocoran fluk magnetik di antara kedua pemisah yang dihasilkan oleh retak tersebut. Kalau dalam kondisi ini dilakukan penaburan atau penyemprotan bubuk partikel magnet maka partikel-partikel itu akan berkumpul di tempat terjadinya kebocoran fluk (medan magnet) disekitar retak permukaan. Arah fluk magnet adalah vital yang membentuk suatu pola, dan garis-garis fluk harus memotong tegak lurus terhadap retak.

a. Magnetisasi sirkular.

Jenis magnetisasi ini mempunyai arus AC yang tinggi dan masuk melalui bahan. Kemudian akan membentuk medan magnet yang sirkular pada bahan dan tegak lurus memotong retak longitudinal. (lihat gambar 2.69).

b. Magnetisasi longitudinal (Tipe "yoke").

Arus DC yang masuk melalui kumparan dibentuk dalam formasi "yoke", menghasilkan medan magnet longitudinal dan aliran-aliran yang melalui rangkaian magnetik itu memotong tegak lurus pada retak transversal. (lihat gambar 2.70).

c. Magnetisasi longitudinal (Tipe "coil").

Jenis magnetisasi ini dilakukan dengan mengalirkan arus DC melalui bahan kumparan, sedangkan benda kerja berada sepanjang sumbu longitudinal kumparan. Medan magnet yang dihasilkan berbentuk longitudinal dan memotong tegak lurus terhadap retak transversal. Prinsip ini dapat juga

mendeteksi retak transversal 45° terhadap medan magnet yang ditimbulkan. (lihat gambar 2.71).

d. Magnetisasi kombinasi.

Apabila untuk menghasilkan sekaligus kedua tipe magnetisasi yakni dengan menggunakan arus AC untuk menghasilkan medan sirkular dan arus DC untuk menghasilkan medan longitudinal. Efek medan yang ditimbulkan ini dapat sekaligus mendeteksi retak-retak dari segala arah baik retak transversal maupun retak longitudinal dan pengerjaannya hanya satu kali operasi saja. Untuk inspeksi ini dapat mengurangi waktu, setengah kali waktu inspeksi biasa, tetapi konsekuensinya biaya tentu akan berlipat dua dibandingkan dengan inspeksi biasa.

e. Magnetisasi induksi dengan metode konduktor sentral.

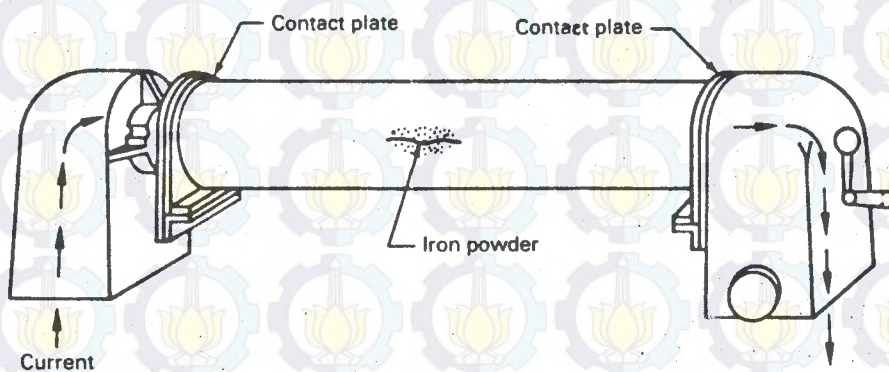
Metode ini menggunakan konduktor sentral yang dialiri arus magnet dan benda berbentuk silinder (pipa berongga) sebagai benda yang akan diuji dimasukkan dalam konduktor tersebut. Pada benda uji akan terjadi induksi magnetisasi sirkular yang cocok untuk mendeteksi retak longitudinal dan radial. Bila konduktor dialiri arus AC berarti digunakan untuk mendeteksi retak permukaan, sedangkan bila konduktor dialiri arus DC dapat mendeteksi retak di bawah permukaan. (lihat gambar 2.72).

f. Magnetisasi tipe "prod".

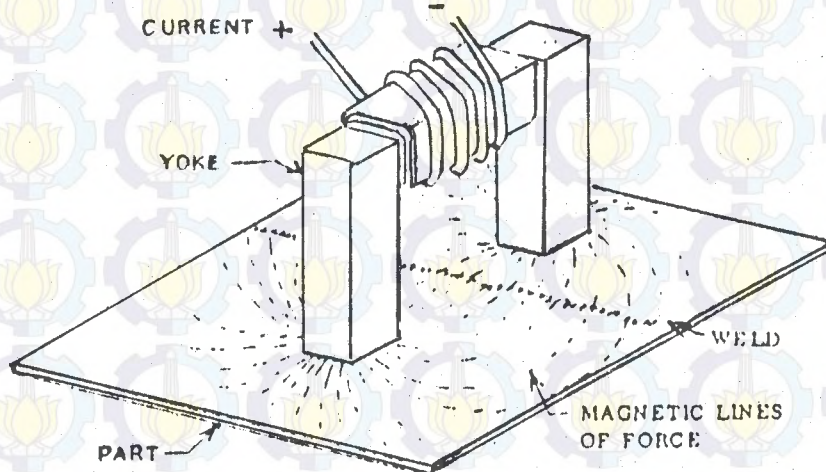
Umumnya dua batang logam tembaga ini jika dialiri arus listrik akan terjadi magnetisasi langsung terhadap benda kerja. Jarak antara 2 batang tembaga yang kontak dengan benda uji adalah 150-200 mm dalam satu garis. Kondisi kontak "prod" dalam mendeteksi retak adalah dalam satu garis kemudian diputar 90° dari posisi semula, sehingga didapatkan cacat secara lengkap dan sempurna. (lihat gambar 2.73).

Metode ini sangat berguna untuk pemeriksaan las-lasan dan bagian benda yang besar dengan metode seksional. Ada

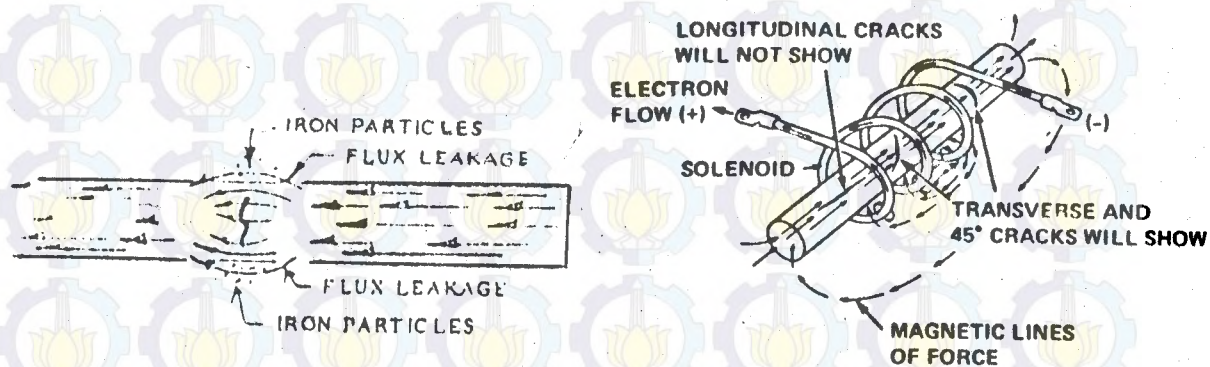
dua tipe "prod" yaitu kontak "prod" tunggal dan ganda.



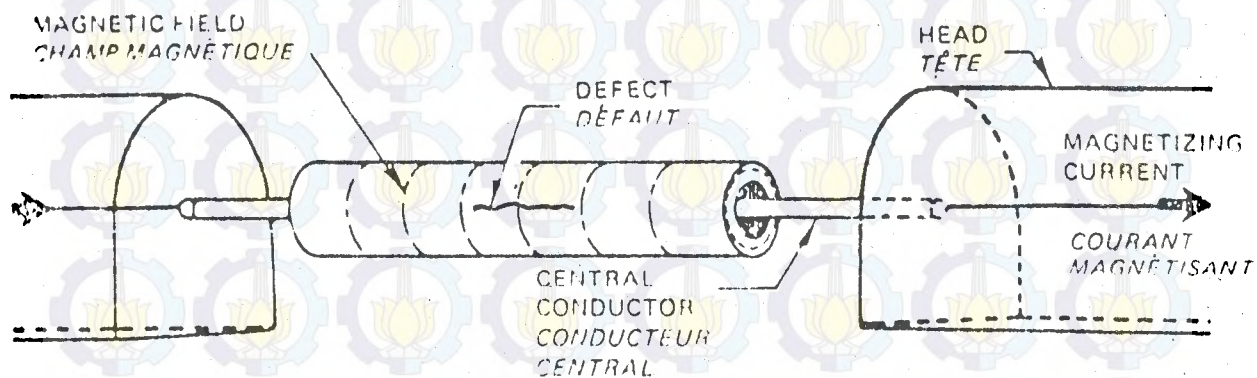
Gb. 2.69 Magnetisasi sirkular



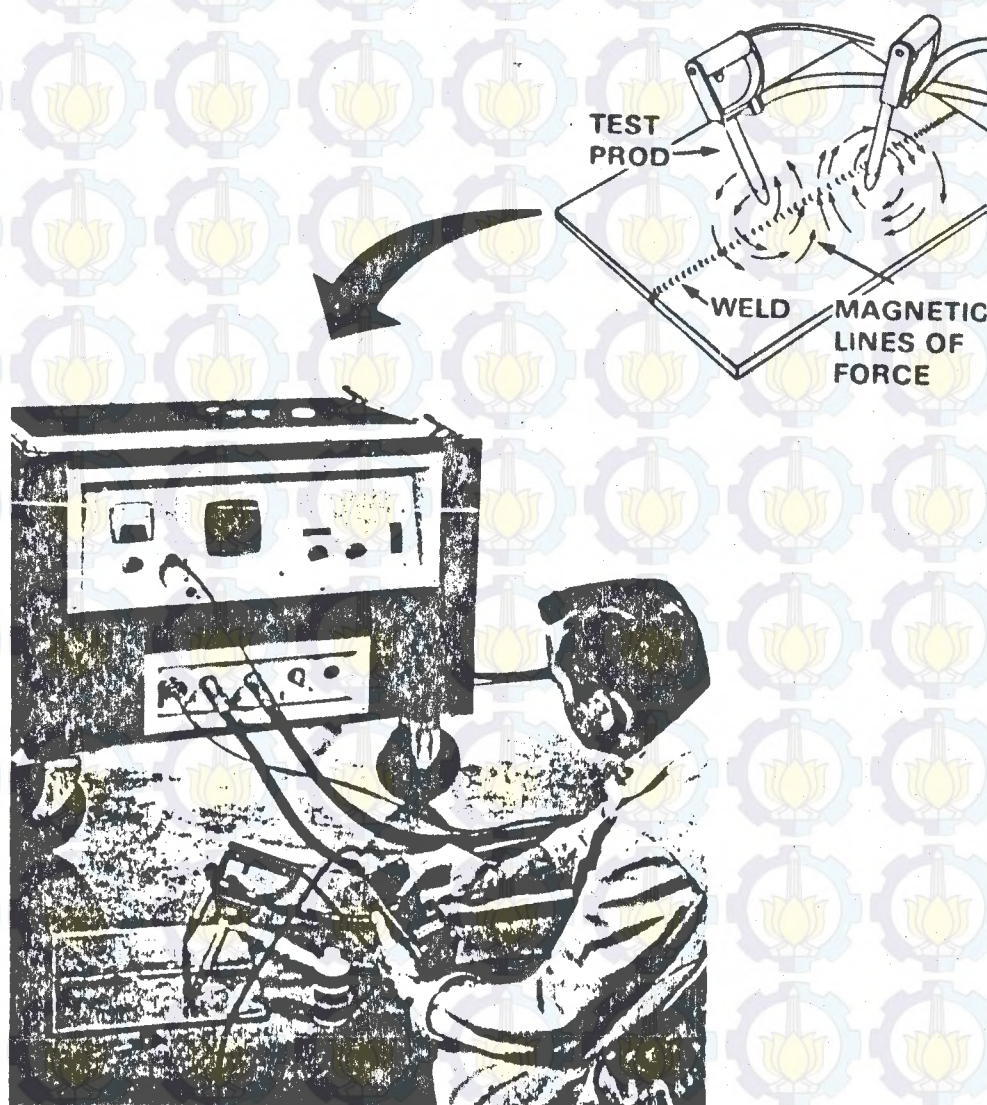
Gb. 2.70 Tipe "yoke"



Gb. 2.71 Tipe "coil"



Gb. 2.72 Metode konduktor sentral



Magnallux Corporation

Gb. 2.73 Metode "prod"

2.4.2 Teknik Inspeksi dengan Serbuk Magnet

Untuk mendeteksi retak dengan metode serbuk magnet (magnetik partikel) kemungkinan terjadi kemelesetan, bila penampilan sistim ini tidak sesuai dengan yang diharapkan. Retak yang tampak seringkali dijadikan sebagai kriteria untuk efisiensi penampilan sistim tersebut. Bila dalam mendeteksi tidak mendapatkan suatu indikasi maka harus diadakan pengecekan yang kedua (ulangan) dengan sistim yang sama.

a. Persiapan permukaan.

Pada bagian benda yang terjadi pengerakkan, debu, scale dan cat pada permukaannya harus dihilangkan dengan metode yang tepat. Biasanya dilakukan dengan gerinda untuk permukaan yang siap diperiksa. Untuk mendeteksi retak dalam lasan, posisi prod yang dipakai harus diberi tanda dan setelah itu dilakukan pembersihan.

Semua komponen harus dilakukan pembersihan pada permukaannya sebelum diadakan pengecekan untuk cacat retak, atau cacat lainnya. Bahan pengotor seperti minyak, pelumas, partikel logam yang menempel, minyak dan sejenisnya harus dibuang. Adanya pengotor tersebut akan mengurangi penampilan pekerjaan tersebut. Secara umum pembersihan dapat dilakukan juga dengan mencelupkan komponen dalam karosene dan dibersihkan dengan kawat baja (penyikat).

b. Teknik megnetisasi.

Urutan pekerjaan magnetisasi dan aplikasi dari mediana mempunyai peranan penting dalam metode ini. Beberapa metode magnetisasi diuraikan seperti berikut.

1. Metode kontinyu.

Bubuk kering disiramkan pada benda kerja sedangkan arus magnetisasi dialirkan. Metode ini mendapatkan sensitivitas maksimum bila medan magnet yang timbul pada benda tersebut tinggi. Arus magnetisasi kontinyu

dialirkan pada benda kerja dan bersamaan dengan itu bubuk partikel disiramkan dan yang berlebihan dibuang. Bila arusnya dimatikan dan bubuk partikel yang berlebihan dibuang maka medan magnet sisa yang terjadi akan memperlihatkan indikasi cacat disekitar sisa-sisa bubuk berlumpul.

2. Metode residual.

Metode ini masih membutuhkan medan magnet sisa setelah arus magetisasi dimatikan pada benda uji yang dikerjakan. Selama pengujian ini tergantung kekuatan medan magnet sisa, dan metode ini dapat digunakan hanya untuk material yang mempunyai sifat menyimpan magnetik relatif tinggi.

2.4.3 Indikasi Diskontinyuitas

Indikasi pengujian dengan serbuk magnet harus dievaluasi berdasarkan code atau standart yang dipakai. Indikasi memiliki susunan atau bentuk yang bervariasi tergantung pada kebocoran fluk yang disebabkan oleh diskontinyuitas. Karakteristik indikasi seperti tinggi, lebar, bentuk, dan penampakkannya akan memberikan informasi tentang tipe dan luasnya diskontinyuitas. Beberapa tipe indikasi diskontinyuitas dibicarakan di bawah ini (3).

Surface crack. Indikasi ini mudah didefinisikan yaitu berupa mengumpulnya serbuk magnet dengan rapat pada lokasi yang cacat. Banyaknya serbuk yang mengumpul bisa berupa ukuran dalamnya crack.

Subsurface crack. Indikasi subsurface crack berbeda dengan surface crack. Serbuk akan mengumpul tetapi lebarnya hanya sedikit dan sulit didefinisikan.

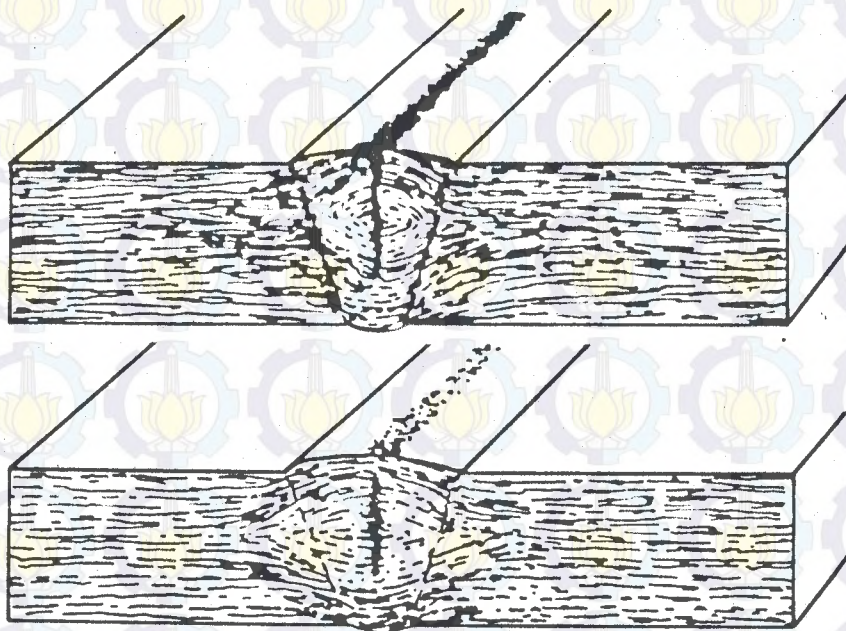
Incomplete fusion. Indikasi mudak dikenali, tetapi ini kebanyakan terjadi pada sudut atau pinggir dari pass pengelasan. Seperti halnya indikasi crack bila incomplete fusion terjadi di bawah permukaan maka indikasinya kurang jelas.

Slag inclusion dan Porosity. Slag inclusion dan Porosity yang didapatkan di bawah permukaan, indikasinya sangat samar-samar atau tidak jelas tetapi luasannya bisa diamati. Serbuk yang mengumpul sulit didefinisikan dengan jelas tetapi dapat dibedakan dari indikasi permukaan (yang tidak cacat).

Incomplete penetration. Bila kondisi pengujian memungkinkan, incomplete penetration dapat dideteksi dengan pengujian serbuk magnet. Indikasinya berupa pengumpulan serbuk yang meluas dan kabur, seperti subsurface crack, tetapi bentuknya berupa garis lurus.

Lamination. Bila ujung plat diinspeksi, khususnya pada persiapan sisi sebelum pengelasan, adalah mungkin untuk menampakkan laminasi pada plat tersebut. Indikasinya lurus, jelas dan sering terputus-putus. Pengumpulan serbuknya tidak banyak. Sebuah arus magnetisasi yang lebih besar dibutuhkan untuk mendeteksi cacat ini.

Pada gambar 2.74 bisa dilihat perbedaan indikasi cacat permukaan dan di bawah permukaan pada pengujian dengan serbuk magnet(1).



Gb. 2.74 Surface crack (atas) dan sub surface crack (bawah)

2.5 Pengujian dengan Penembusan Zat Warna

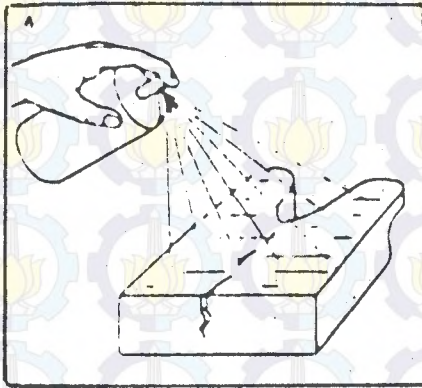
Metode ini digunakan untuk mendeteksi diskontinuitas pada permukaan benda dari bahan ferro, non ferro dan hasil non metalik seperti keramik, gelas, plastik dan lain-lain. Pengujian dengan penembusan zat warna atau yang dikenal dengan metode uji cairan penetran, prinsipnya sangat sederhana dan bentuk peralatannya portable(10).

2.5.1 Prinsip Dasar

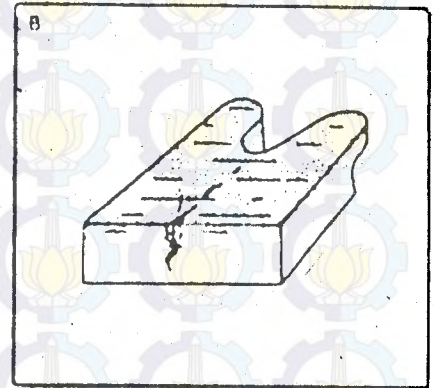
Metode uji ini untuk mendapatkan diskontinuitas yang terbuka pada permukaan benda padat atau logam. Penetran cair dipakai pada permukaan benda yang bersih dan kering. Pada diskontinuitas yang menyempit seperti retak atau lubang jarum, alirannya didasarkan pada prinsip pipa kapiler, sedangkan untuk diskontinuitas yang melebar seperti bentuk sobekan (tears) atau porositas permukaan maka cairannya akan terperangkap dalam diskontinuitas.

Dengan memberikan sedikit cairan developer yang berfungsi sebagai penyedot (dilakukan pada benda uji), maka cairan penetran yang masuk pada diskontinuitas tersebut akan tertarik ke permukaan berupa indikasi berwarna merah berlatarbelakang lapisan developer yang berwarna putih. Indikasi ini selalu lebih besar dari diskontinuitasnya, yang disebabkan adanya difusi penetran terhadap developer.

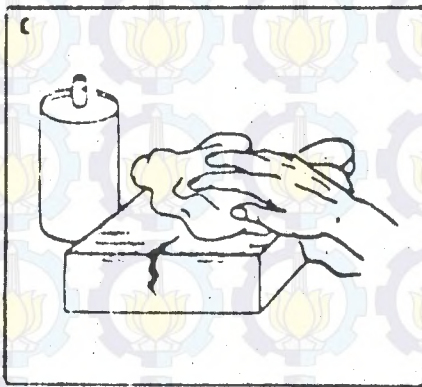
Langkah pengujiannya ada pada gambar 2.75.



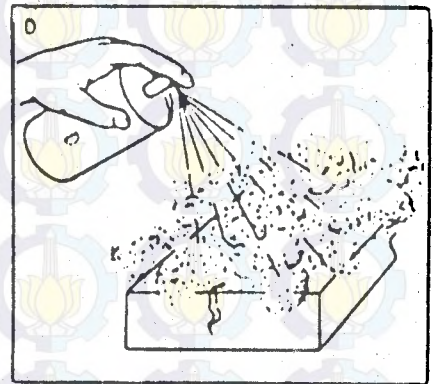
PENETRANT APPLIED TO SURFACE



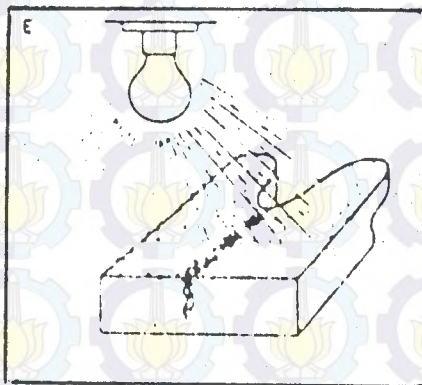
TIME ALLOWED FOR PENETRANT TO SEEP INTO THE OPENING



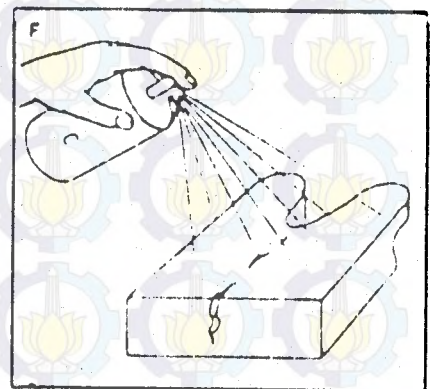
SURFACE PENETRANT REMOVED



DEVELOPER APPLIED TO DRAW PENETRANT OUT OF OPENING



SPECIMEN VISUALLY EXAMINED



POST-CLEANING

Gb. 2.75 Langkah pengujian dengan cairan penetran

2.5.2 Proses Uji

Dalam bagian ini diuraikan tentang tipe penetrasi yang digunakan, metode menghilangkan penetrasi yang berlebihan dan tipe developer yang dipakai.

Penetrasi cair dapat dibagi dalam dua kategori yakni penetrasi yang mengandung "Flourescent dyes" dan satu lagi "coloured dyes" yang biasanya berwarna merah. Setiap kategori ada tiga proses yang tergantung penetrasinya, yaitu "water washable" (proses A), "post emulsifiable" (proses B), atau "solvent removeable" (proses C). Langkah-langkah tiga proses tersebut digambarkan dalam bagan di halaman berikut.

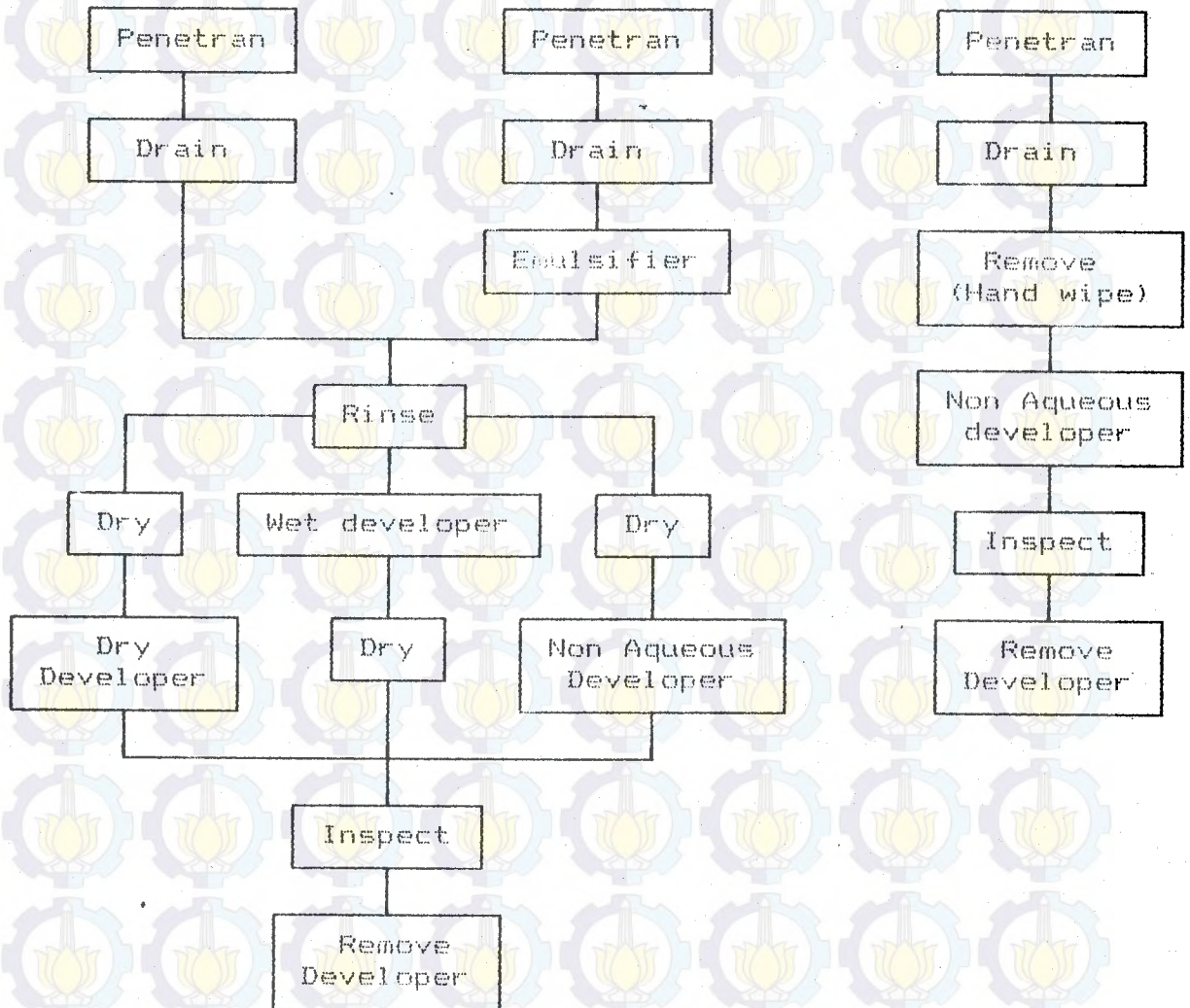
Penetrasi "fluorescent dyes" selalu digunakan untuk uji skala besar. Proses A dan B umumnya menggunakan celup berpendar (fluorescent dyes). Celup berwarna umumnya dikerjakan pada proses C. Untuk proses ini memerlukan peralatan yang mahal dan bila dilakukan di lapangan harus memerlukan ruangan inspeksi yang gelap serta membutuhkan tenaga listrik.

a. Pra pembersihan.

Keefektifan suatu uji penetrasi cair selalu didasari oleh kemampuan penetrasi dapat masuk ke dalam diskontinuitas permukaan. Kondisi ini permukaan benda harus dibersihkan dan bebas dari benda asing yang akan mencegah penetrasi masuk ke dalam diskontinuitas. Misalnya lapisan cat, kotoran minyak, pelumas dan lain-lain harus dihilangkan sebelum dilakukan pemberian penetrasi. Pra pembersihan dapat berupa deterjen, steam cleaning, solvent cleaning, penghilang cat dan lain-lain. Prinsipnya bahwa permukaan tersebut harus bersih dan kering.

Bagan proses penetran

PROSES A PROSES B PROSES C
 Water washable Post emulsifiable Solvent-Removeable
 Flourescent penetrant Flourescent penetrant Flourescent penetrant



b. Aplikasi penetran.

Berbagai metode seperti penyemprotan, penyekaan, penguasan atau penyikatan, pencelupan atau dimasukkan dan lain-lain, banyak digunakan untuk aplikasi penetran. Di samping itu juga ditentukan waktu penetrasi yang dapat diterima untuk setiap benda uji. Metode celupan (immersion) cocok untuk menguji benda kecil dengan kuantitas banyak. Metode penyekaan atau penyikatan hanya digunakan untuk uji benda di daerah yang kecil.

Waktu penetrasi bergantung pada ukuran dan tipe diskontinuitas yang ada, tipe proses, temperatur benda, penetrannya dan juga temperatur dan kelembaban pada daerah kerja. Sebagai contoh jika diskontinuitas retak halus membutuhkan waktu penetrasi yang lama daripada diskontinuitas porositas melebar. Pada tabel 5 dapat dilihat beberapa tipe waktu penetrasi.

c. Aplikasi emulsifier.

Pekerjaan ini hanya dilakukan pada proses penetran "post emulsifiable". Emulsifier dapat dipakai dengan apa saja tetapi lebih baik dengan proses pencelupan (immersion). Pemakaian emulsifier dengan sikat atau penyeka adalah tidak dianjurkan, karena kemungkinan penetran akan hilang dari cacat yang dangkal. Umumnya waktu emulsifier yang diperlukan sekitar 3-4 menit, setelah itu baru dapat dilakukan proses penghapusan atau penghilangan.

d. Pembersihan penetran.

Dalam hal ini seperti water washable, post emulsifying penetran, atau penetrant emulsifier mixture, yang dapat dihilangkan dengan air pencuci. Dapat pula dilakukan dengan air bertekanan dan sudut penyemprotan kira-kira 45° terhadap permukaan benda.

Bila menggunakan bahan pelarut penetran (solvent), pertama harus dilakukan penyekaan dengan kain penyerap

lalu digunakan bahan pelarut pada kain bersih terhadap permukaan benda uji. Sesudah dikerjakan pembersihannya harus dilihat lagi benda uji itu secara pasti apakah penetrannya sudah hilang bersih. Untuk penetran "fluorescent" dilakukan pengamatan dengan cahaya lampu gelap (sinar ultraviolet).

e. Aplikasi developer.

Developer dilakukan setelah proses penetran itu komplit hilang, sehingga tidak ada kesempatan penetran keluar dari diskontinuitasnya. Kerja developer adalah sebagai larutan penyedot atau penarik dan membawa penetran yang tinggal dalam diskontinuitas ke permukaan yang membentuk indikasi cacat.

Developer dapat berupa kering, non aqueous atau basah. Developer kering berupa bubuk dengan sifat absorben tinggi dan digunakan teknik pencelupan. Bila bubuknya berlebihan cukup dihembus dengan blower atau fan. Developer kering digunakan dengan penetran "fluorescent dyes" dan pada benda yang permukaannya kasar.

Developer non aqueous merupakan suspensi bubuk putih dalam larutan yang mudah menguap. Developer ini digunakan dengan penetran "post emulsifying" atau water washable maka permukaannya harus kering betul sebelum dilakukan developer. Developer ini biasanya dalam bentuk kaleng penyemprot. Developer basah adalah suatu suspensi bubuk putih penyerap yang berada dalam air dan dapat digunakan walaupun benda kerja dalam keadaan basah.

f. Inspeksi.

Setelah beberapa lama waktu yang dibutuhkan untuk aplikasi developer, maka penetran akan muncul dari diskontinuitas dan menunjukkan indikasi pada benda uji. Jika digunakan "dye penetrant" penampakan indikasinya cukup dengan cahaya biasa, sedangkan dengan "fluorescent penetrant" harus dengan lampu hitam (ultraviolet) pada daerah gelap.

Tabel 5 Beberapa tipe waktu penetrasi
(dalam menit - pada temp. 60°F atau lebih)

Bahan	Bentuk	Jenis diskontinyuitas	Waktu penetrasi dalam menit untuk proses		
			A	B	C
Aluminium	Cor-coran	Porosity & cold shuts	5-10	5	3
	Extrusion	Laps,	TR	10	7
	Tempaan	Lack of fusion & poros.	30	5	3
	Lasan	Retak	30	10	5
	Lain-lain	Kelelahan (fatigue)	TR	30	5
Magnesium	Cor-coran	Porosity & cold shuts	15	5	3
	Extrusion	Laps,	TR	10	7
	Tempaan	Lack of fusion & poros.	30	10	5
	Lasan	Retak	30	10	5
	Lain-lain	Kelelahan (fatigue)	TR	30	7
Steel (Fe)	Cor-coran	Porosity & cold shuts	30	10	5
	Extrusion	Laps,	TR	10	7
	Tempaan	Lack of fusion & poros.	60	20	7
	Lasan	Retak	30	20	7
	Lain-lain	Kelelahan (fatigue)	TR	30	10
Brass & Bronze	Cor-coran	Porosity & cold shuts	10	5	3
	Extrusion	Laps,	TR	10	7
	Tempaan	Lack of fusion & poros.	15	10	3
	Lasan	Retak	30	10	3
	Lain-lain				
Gelas & Plastik	Semua	Retak	5-30	5	5
Carbide tipped tools		Lack of fusion & prosity	30	5	3
		Retak	30	20	5
Titanium & High temp. alloys	Semua		TR	20	15
Semua logam	Semua	Strees atau inter granular corrosium	TR	240	240

Catatan : TR = Tidak direkomendasi

g. Pasca pembersihan.

Beberapa spesifikasi diperlukan setelah inspeksi penetrasi. Proses ini dilakukan untuk menghilangkan sisa-sisa penetrasi atau developer dari benda uji. Pembersihan dengan deterjen atau pelarut sering dipakai.

2.5.3 Penafsiran Indikasi

Semua indikasi yang tampak pada permukaan benda uji dapat diklasifikasikan dalam tiga kategori seperti uraian di bawah ini.

a. Indikasi salah.

Indikasi ini seharusnya tidak tampak jika penanganan pengunjiannya cukup baik. Adanya indikasi salah bukan karena ada diskontinuitas melainkan adanya penyebab yang tidak relevan seperti pencucian atau pembersihan tak sempurna, terjadinya kontaminasi luar misalnya antara developer dengan penetrasi, bintik-bintik penetrasi pada meja inspeksi, penetrasi pada tangan inspektor dan lain-lain.

b. Indikasi non-relevan.


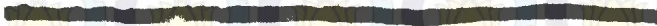


Umumnya bila indikasinya benar tentu disebabkan oleh diskontinuitas permukaan, tetapi bisa pula karena perencanaan, jadi bukan cacat. Sumber indikasi jenis ini yang sering muncul misalnya press fitted, keyed, splined, reversed atau spot welded, dan juga muncul pada benda casting.

c. Indikasi cacat yang benar.

Indikasi ini akan tampak yang disebabkan oleh cacat-cacat yang terjadi pada permukaan material. Indikasi linier disebabkan cacat crack, cold shuts, forging laps dan lain-lain. Sedangkan indikasi tak beraturan atau bulat tentu disebabkan adanya porositas, lubang jarum (pin hole) dan sebagainya.

2.5.4 Evaluasi Indikasi

Setelah diketahui asal, jenis dan ukuran indikasi cacat dengan mantap, baru dapat dievaluasi cacat-cacat tersebut. Apakah dapat diterima atau tidak. Kondisi ini pun sangat tergantung pada lokasi cacat dan masa penggunaan komponen tersebut. Evaluasi yang dilakukan harus mengikuti codes, standart, dan spesifikasi yang dipakai. Indikasi diskontinuitas yang bisa dideteksi dengan pengujian penembusan zat warna ada pada gambar 2.76(1).

IF YOU SEE:	INDICATION	YOU HAVE:
		
A CONCENTRATION OF RED SPOTS		PITS AND POROSITY
		
A CONTINUOUS STREAK WHICH BLEEDS UP RAPIDLY		LARGE CRACK OR OPENING
		
A BROKEN LINE OF DOTS WHICH TAKES SEVERAL MINUTES TO COME UP		CRACK OR COLD SHUT
		
A SERIES OF RED DOTS FORMING AN IRREGULAR LINE		FATIGUE CRACK, PARTIAL WELD OR LAP

Gb. 2.76 Indikasi diskontinuitas yang terdeteksi pada pengujian penembusan zat warna

BAB III

PENGUNAAN PENGUJIAN TIDAK MERUSAK PADA FABRIKASI FIXED OFFSHORE STRUCTURE

Bab ini menjelaskan tentang keberadaan pengujian tidak merusak pada tahap fabrikasi dan penggunaannya sesuai dengan rules yang diterapkan.

3.1 Pengujian Tidak Merusak dalam Fabrikasi

Pada prinsipnya proses fabrikasi meliputi pemotongan profile (cut profile), penyetelan (fit up), perakitan (assembly), dan pengecatan. Selanjutnya diadakan penyambungan terhadap konstruksi yang telah dirakit (seksi-seksi) sehingga membentuk suatu bangunan sesuai dengan yang diharapkan. Dalam hal ini pengujian tidak merusak selalu dibutuhkan baik sebelum fabrikasi, selama ataupun setelah fabrikasi.

Pada tahap sebelum fabrikasi perlu diadakan pengecekan secara amatan (visual) terhadap material yang akan dipakai tentang kondisinya, yaitu kemungkinan terdapatnya korosi, pitting, kelurusannya dan cacat-cacat permukaan, dimensi, serta persiapan sisinya.

Pengujian tidak merusak dalam fabrikasi dimulai dari inspeksi terhadap pemotongan material yaitu apakah dimensi material yang dipotong (profile) sudah sesuai dimensinya dengan gambar (shop drawing). Pada saat komponen-komponen struktur tersebut disetel hingga membentuk sebuah rakitan yang siap dilas, maka perlu juga diadakan pengecekan dimensi. Selanjutnya setelah dilakukan pengelasan perlu pengecekan dimensi lagi dengan penyimpangan sesuai toleransi yang diijinkan. Berikutnya diadakan pengujian tidak merusak terhadap sambungan konstruksi sesuai dengan rules yang dipakai.

Apabila rakitan-rakitan struktur (seksi-seksi) tersebut digabungkan hingga membentuk struktur yang lebih kompleks, maka diperlukan pengujian tidak merusak lagi pada

konstruksi-konstruksi tertentu sesuai dengan rules. Demikian pula setelah fabrikasi selesai dibutuhkan inspeksi terhadap kesempurnaan sambungan struktur, dimensi akhir yang dihasilkan, dan pengecekan-pengecekan lain.

Dari uraian di atas jelas sekali bahwa pengujian tidak merusak merupakan sesuatu yang vital dan mutlak diperlukan dalam fabrikasi. Oleh karena itu dibutuhkan pelaksana pengujian yang benar-benar ahli di bidangnya sehingga hasil yang diperoleh dapat menunjukkan kondisi sesungguhnya terhadap obyek yang diuji.

3.2 Prosentase Penggunaan Beberapa Pengujian Tidak Merusak pada Fabrikasi Fixed Offshore Structure

Seperti kita ketahui bahwa kepercayaan (Reliability) suatu hasil produksi (fabrikasi) hanya bisa diterima, bila telah dibuat sesuai dengan prosedur yang ada dalam rules. Begitu pula dalam fabrikasi fixed offshore structure yang sebagian besar terdiri dari konstruksi yang disambung dengan pengelasan, perlu pengerjaan yang cermat dan tepat sehingga diperoleh konstruksi atau bangunan dengan kekuatan sesuai perhitungan rancang bangun.

Guna mencapai tujuan di atas dibutuhkan pengetahuan teknologi las (welding technology) yang memadai. Ini dimaksudkan agar segala parameter yang berhubungan dengan pengelasan dan segala aspeknya dapat ditangani dengan baik dan benar. Namun demikian perlu dipertimbangkan bahwa kebaikan hasil konstruksi las-lasan hanya bisa dijamin kekuatannya bila telah dilakukan pengujian baik secara merusak maupun tidak merusak terhadap konstruksi tersebut sesuai dengan rules atau code yang dipakai. Kalau hasil pengujian ini telah memenuhi persyaratan sesuai dengan kriteria dalam rules, maka baru konstruksi tersebut layak digunakan sebagaimana mestinya.

Untuk keperluan fabrikasi fixed offshore structure pengujian tidak merusak dilakukan pada sambungan-sambungan tertentu dengan prosentase tertentu pula serta teknik yang

telah diatur dalam rules. (DnV, ABS, LR, dan lain-lain).

Pada pokoknya hal-hal yang berkaitan dengan pengujian tidak merusak adalah jenis pengujiannya, tekniknya, pelaksanaannya, peralatan yang diperlukan, jenis bagian konstruksi yang diuji, standart penerimaannya, dan persyaratan-persyaratan lain. Di bawah ini diuraikan persyaratan minimum prosentase masing-masing teknik pengujian tidak merusak pada fabrikasi fixed offshore structure, hasil konsensus lima perusahaan inspeksi di Indonesia (BKI, Indospec, Paramuda Jaya, Elnusa dan Tri Hasta) selengkapnya ada di lampiran 1.

3.2.1 Struktur Pengelasan Khusus (spesial)

a. Kaki-kaki jacket dan brace-brace.

- a.1 Sambungan can, seams arah memanjang 100% UT or RT
- a.2 Sambungan tumpul arah melingkar 100% UT or RT
- a.3 Sambungan T-K-Y 100% UT
- a.4 Sambungan fillet plat gusset 100% UT

b. Piles.

- b.1 Sambungan tumpul 100% UT or RT
- b.2 Sambungan jacket ke pile 100% MT

c. Kaki deck dan couloms.

- c.1 Sambungan tumpul 100% UT or RT
- c.2 Sambungan T-K-Y (dari girder ke tubular dan tubular ke tubular) 100% UT

d. Deck girder utama.

- d.1 Sambungan tumpul dan memanjang 100% UT or RT
- d.2 Pertemuan girder-girder utama 100% UT or RT
- d.3 Pertemuan dengan tubular braces 100% UT or RT

e. Padeyes pengangkat pada jacket dan deck

100% UT + 100% PT

f. Crane pedestal, struktur framing yang secara langsung dengan crane pedestal harus diinspeksi 100% dengan metode yang sesuai.

- g. Penyangga cantilever helideck, penyangga sambungan utama harus diinspeksi 100% dengan metode yang cocok.

3.2.2 Struktur Pengelasan Utama (primer)

a. Kaki-kaki jacket dan brace-brace.

a.1 Seams arah memanjang 20% UT or RT

a.2 Sambungan T-K-Y minor

1. Sambungan pengelasan pada guide frame ... 20% UT

2. Sambungan pengelasan ke struktur jacket di bawah ini harus diinspeksi 100% dengan metode yang cocok yaitu :

- Penyangga hydrocarbon riser.
- Skirt pile guides dan penyangga.
- Boat landing dan saddle plate, barge bumper dan sambungan T-Y.
- Sambungan penyangga anoda pada splash zone.

b. Piles.

b.1 seams arah memanjang 20% UT or RT

c. Kaki-kaki deck dan columns.

c.1 Seams arah memanjang 20% UT or RT

d. Deck girder (sambungan tumpul, memanjang, sambungan T dan bentuk sambungan melintang pada deck beams) 20% UT or RT

e. Penyangga helideck dan penguat-penguat ... 20% UT or RT

3.2.3 Struktur pengelasan bukan utama (sekunder)

a. Inspeksi visual dan random (0-10%) dengan metode yang sesuai, untuk :

1. Boat landings dan struktur bumper.
2. Penyangga anoda.
3. Pilespacer.
4. Pump casing dan penyangga.
5. Cable riser dan penyangga reach rod.
6. Penyangga minor mud-mat atau fastening guide.

7. Walkways, stairways, landings, handrails.
8. Deck plating dan grating.
9. Sambungan tumpul konduktor.

3.3 Standart Penerimaan (Standart of acceptability)

Hasil pengujian tidak merusak terhadap suatu sambungan las bisa dinyatakan diterima, dilakukan pengujian ulang atau diperbaiki kembali (repair), sesuai dengan standar yang digunakan. Standar-standar yang ada misalnya adalah AWS D1.1, DnV, API RP2X, atau yang lainnya. Sebagai contoh standar penerimaan menurut DnV ada pada lampiran 2(2).

Menurut standar tersebut, pada prinsipnya sambungan las yang mengandung cacat melebihi batas yang ditentukan pada halaman 2.a dan 2.b lampiran 2, harus diuji ulang atau diperbaiki kembali. Ini berlaku untuk metode pengujian radiografi, serbuk magnet dan penembusan zat warna.

Sedangkan untuk pengujian ultrasonik, apabila pulsa yang ditunjukkan dalam layar CRT melebihi 50% dari kurva referensi maka pengujian harus dilakukan lagi, atau diadakan perbaikan seperlunya (lihat hal 2.c lampiran 2).

Apa yang dijelaskan di atas adalah persyaratan minimum pengujian tidak merusak dan standar penerimaannya. Kenyataannya pemesan akan menyusun persyaratan dan standar penerimaan yang lebih ketat untuk menghasilkan kesempurnaan konstruksi, sesuai dengan yang dikehendaki. Lampiran 3 merupakan contoh persyaratan pengujian tak merusak dan standar penerimaannya yang dibuat oleh TOTAL pada fabrikasi steel offshore structure.

BAB IV KESIMPULAN

Dengan mempelajari lima macam teknik pengujian tidak merusak yang digunakan dalam fabrikasi fixed offshore structure sebagaimana dijelaskan dalam bab sebelumnya, maka bisa dipelajari aspek-aspek yang berhubungan dengan pengujian tersebut. Aspek-aspek itu antara lain menyangkut sampai sejauh mana peralatan yang diperlukan, penggunaannya, kelebihan dan keterbatasan masing-masing metode pengujian diatas. Penjelasan selengkapnyanya bisa diikuti dalam tabel 6. Hal lain yang perlu dicatat dari pengujian tidak merusak ini ialah perlunya ketangkasan dalam mengoperasikan peralatan uji dan kemahiran menafsirkan hasil pengujian. Ini berarti membutuhkan penguasaan teknik juga latihan yang cukup. Tentunya pengalaman inspektor merupakan sesuatu yang sangat mendukung.

Pengujian amatan merupakan metode pengujian yang harus dilakukan sebelum, selama dan sesudah fabrikasi. Kondisi material, bentuk persiapan sisi, prosedur atau proses pengelasan dan cacat-cacat yang tampak dari permukaan adalah hal-hal utama yang bisa diamati secara visual.

Untuk cacat yang letaknya di dalam las-lasan, dekat permukaan dan terbuka sampai ke permukaan, semuanya bisa dideteksi secara baik dengan pengujian radiografi. Indikasi jenis cacat dapat dilihat dengan memperhatikan variasi kontras dan density pada film radiografi.

Pengujian ultrasonik sangat cocok untuk mendeteksi cacat-cacat yang letaknya di dalam las-lasan, di samping itu juga bisa digunakan untuk memeriksa cacat-cacat di dekat permukaan dan terbuka sampai ke permukaan. Pada prinsipnya cacat-cacat yang letaknya tegak lurus terhadap arah getaran ultrasonik mudah diidentifikasi, yaitu dengan melihat perbedaan sinyal response pada layar CRT.

Pada pengujian dengan serbuk magnet, indikasi cacat di inunjukkan oleh mengumpulnya serbuk magnet pada lokasi cacat.

Cacat-cacat yang bisa dideteksi adalah cacat yang terbuka sampai ke permukaan dan di dekat permukaan.

Dengan pengujian penembusan zat warna dapat diamati secara baik cacat-cacat yang terbuka sampai ke permukaan. Sedangkan cacat-cacat di dekat permukaan atau dalam las-lasan tak dapat dideteksi dengan cara ini.

Jadi dalam suatu fabrikasi fixed offshore structure, terlebih dahulu diadakan pengujian amatan sehingga diperoleh informasi-informasi sedini mungkin terhadap hal-hal yang menyangkut persiapan atau prosedur fabrikasi tersebut. Berikutnya baru diadakan pengujian tidak merusak jenis lainnya terhadap sambungan tertentu. Umumnya pengujian radiografi sangat tepat untuk memeriksa sambungan-sambungan tumpul (butt weld). Sedangkan sambungan T-K-Y lebih baik dipakai metode ultrasonik. Hal ini berdasarkan pada kemudahan pelaksanaan teknisnya. Untuk sambungan-sambungan dengan penetrasi tidak penuh bisa digunakan metode serbuk magnet atau penembusan zat warna.

Tentang klasifikasi jenis sambungan yang harus diinspeksi dengan metode pengujian tidak merusak, macam pengujiannya, persentasenya, ataupun persyaratan untuk pelaksanaannya dan peraturan-peraturan lain telah diatur oleh rules dalam bentuk persyaratan minimum. Jadi dalam satu fabrikasi fixed offshore structure setidaknya-tidaknya harus memenuhi persyaratan rules. Namun bisa diperketat lagi oleh pemesan (owner) untuk menghasilkan konstruksi yang lebih sempurna.

Bila pengujian tidak merusak atau inspeksi-inspeksi lainnya dalam fabrikasi dilakukan sesuai prosedur yang digunakan, kemudian ditunjang oleh kemampuan serta keahlian penafsiran hasil pengujian yang baik, maka akan dihasilkan suatu struktur bangunan dengan kekuatan dan keandalan sesuai perhitungan perencanaan. Dengan demikian tercapailah efisiensi teknis dan ekonomis yang selalu dituntut dalam dunia industri.

Tabel 6. Karakteristik teknik pengujian tidak merusak

PERALATAN YANG DIBUTUHKAN	PENGUNAAN	KEUNTUNGAN	KETERBATASAN
1. Pengujian Amatan			
Kaca pembesar, proyektor, penggaris, micrometer, sumber penerangan dan lain-lain.	Sambungan pengelasan yang memiliki diskontinuitas di permukaan.	Ekonomis, praktis, latihan yang dibutuhkan sedikit dan peralatannya sederhana.	Terbatas untuk diskontinuitas yang tampak dari permukaan saja. Dibatasi oleh kemampuan pengamatan inspektor.
2.a Pengujian Radiografi (gamma)			
Sumber sinar gamma, kamera, proyektor, pemegang film, film, screen peralatan pemroses film, film viewer, fasilitas exposure, peralatan untuk memonitor radiasi.	Beberapa diskontinuitas pengelasan seperti crack, porosity, lack of fusion, incomplete penetration, slag dan lain-lain	Menghasilkan pencatatan yang permanen sehingga memungkinkan untuk dicek sewaktu-waktu. (setelah pengujian). Sumber sinar gamma bisa ditempatkan di bagian dalam obyek yang diperiksa, misalnya pipa, atau yang lainnya pada pengujian ini. Terdapat efisiensi energi karena untuk menghasilkan sinar gamma tak diperlukan energi listrik.	Radiasi mengancam keselamatan manusia sehingga butuh perlengkapan khusus atau bagian yang diuji membutuhkan pengontrolan khusus tentang tingkat exposure dan dosis radiasi pada pelaksanaannya. Sumber gamma akan rusak bila melampaui waktu paruhnya dan membutuhkan penggantian secara periodik. Sumber gamma memiliki energi keluaran yang konstan (panjang gelombang) dan tidak dapat diatur. Sumber gamma dan perlengkapan yang digunakan mahal. Pengujian radiografi membutuhkan skill yang tinggi dan penafsiran hasil pengujian yang baik.
2.b Pengujian Radiografi (X-ray)			
Mesin pembangkit sinar X, sumber tenaga listrik, beberapa perlengkapan yang digunakan pada pengujian dengan sinar gamma.	Aplikasinya sama seperti di atas.	Tingkat energinya bisa diatur, umumnya menghasilkan kualitas radiografi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber sinar gamma. Menghasilkan pencatatan yang permanen seperti halnya radiografi dengan sinar gamma.	Peralatan X-ray harganya mahal. Bahaya radiasinya sama dengan sumber sinar gamma butuh kemampuan yang cukup untuk mengoperasikan peralatan dan interpretasi terhadap hasil pengujian.

PERALATAN YANG
DIBUTUHKAN

PENGUNAAN

KEUNTUNGAN

KETERBATASAN

3. Pengujian Ultrasonik

Instrumen pulsa-echo yang dihasilkan oleh kristal piezoelectric dan bisa membangkitkan energi ultrasonik dalam benda uji, dan sebuah layar CRT yang bisa menunjukkan besarnya energi bunyi yang diterima standar kalibrasi, cairan couplant.

Diskontinuitas pengelasan seperti cracks, lack of fusion, lack of bond, thickness.

Kebanyakan sensitif untuk mendeteksi cacat tipe planar. Portable. Hasilnya bisa dilihat dengan cepat. Banyak pengujian ultrasonik tak membutuhkan tenaga listrik. Memiliki kemampuan penetrasi yang tinggi.

Kondisi permukaan benda uji harus sesuai untuk digabungkan dengan transducer butuh couplant (cairan). Las-lasan yang kecil atau tipis sulit diinspeksi. Butuh standar referensi. Butuh operator atau inspektur yang memiliki keahlian yang cukup baik.

4. Pengujian dengan Serbuk Magnet

Prod, yoke, coil merupakan peralatan yang sesuai untuk memindahkan (menginduksikan) gaya magnet ke benda uji. Serbuk magnet, sinar ultraviolet, dan penggunaan beberapa peralatan khusus.

Diskontinuitas permukaan yang terbuka dan sedikit di bawah permukaan. Kebanyakan cocok untuk crack.

Sangat ekonomis dan bisa digunakan dengan akurat. Peralatan inspeksinya portable. Tak seperti dye penetrant, metode ini dapat mendeteksi diskontinuitas di dekat permukaan (sub surface).

Hanya bisa digunakan pada material ferro. Permukaan harus diherisihkan sebelum dan sesudah inspeksi. Beberapa penggunaannya ada yang butuh magnetisasi lagi setelah inspeksi. Metode ini perlu penggunaan energi listrik pada setiap operasinya. Coating yang tebal bisa menyebabkan indikasi yang salah.

5. Pengujian dengan Penembusan Zat Warna

Flourescent atau dye penetrant, developer, pembersih (solvent, emulsifier, dan lain-lain). Peralatan pembersih permukaan yang sesuai. Sumber sinar ultraviolet bila flourescent dye digunakan.

Diskontinuitas permukaan yang terbuka dari permukaan seperti cracks, porosity, seams.

Bisa digunakan pada seluruh material (ferro, non ferro, keramik dan lain-lain). Portable, peralatannya tak mahal. Hasilnya mudah ditafsirkan. Tak butuh energi listrik kecuali hanya sebagai penerangan (bila perlu). Indikasi selanjutnya bisa diamati secara visual.

Kondisi permukaan, beberapa kotoran, coating, scale dan lain-lain yang sering ada di permukaan benda uji dapat menimbulkan indikasi yang tak bisa diterima. Permukaan benda uji harus dibersihkan sebelum dan sesudah inspeksi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Campbel, H.C., Certification Manual for Welding Inspectors, American Welding Society Education Department, Miami, Florida, 1980.
2. Det Norske Veritas, Rules for The Design Construction and Inspection for Offshore Structure, Det Norske Veritas, Norway, 1977.
3. Kearns, W.H., Welding Handbook, Engineering Costs, Quality and Safety, Seventh Edition, Volume 5, American Welding Society, Miami, Florida, 1984.
4. Soeweify, Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan I, II dan III, Fakultas Teknologi Kelautan ITS, Surabaya.
5. The American Society of Mechanical Engineers, ASME Boiler and Pressure Vessels Code, Section V Nondestructive Examination, The American Society of Mechanical Engineers, New York, 1974.
6. The American Welding Society, Structural Welding Code, The American Welding Society Inc., Miami, Florida, 1982.
7. Triono, Teknik Radiografi, Bahan Kursus Welding Inspector, Depnaker, Direktorat Migas, Apitindo, Jakarta, 1989.
8. Triono, Ultrasonik, Bahan Kursus Welding Inspector, Depnaker, Direktorat Migas, Apitindo, Jakarta, 1989.
9. Tobing, M.L., Magnetic Particle Inspection, Bahan Kursus Welding Inspector, Depnaker, Direktorat Migas, Apitindo, Jakarta, 1989.
10. Tobing, M.L., Dye Penetrant Test, Bahan Kursus Welding Inspector, Depnaker, Direktorat Migas, Apitindo, Jakarta, 1989.
11. Wiryosumarto, H. dan Okumura, T., Teknologi Pengelasan Logam, Cetakan Ketiga, P.T Pradnya Paramita, Jakarta, 1985.
12. William, J.G., Introduction to Offshore Structure, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1981.

MINIMUM REQUIREMENTS FOR NONDESTRUCTIVE TESTINGOF STRUCTURAL WELD**B 2.1** GENERAL

B 2.1.1 The inspection of structural welds is to follow the requirements of section 6 of the American Welding Society's specification AWS D1.1, section 6 of the American Petroleum Institute API RP2A and the inspection of T K Y Joints is to follow the requirements of American Petroleum Institute API RP2X except that the IIW VI block may be employed in lieu of specially designed block with 1/16" Notch as specified in API RP2X

B 2.1.2 All N.D.T. procedures are to be prepared and approved by an ASNT Level-III person as per AWS D1.1 para 10.19.1

B 2.1.3 Normally, non-destructive Testing (NDT) of structural welds including NDT of repairs to structural welds, may be carried out as soon as the completed weld has cooled to ambient temperature, with the following exceptions :

a) For welds which may be susceptible to delayed cracking (e.g some higher strength steels, complex joint configurations, etc.) final weld NDT is normally not be carried out earlier than 48 hours after completion of the welds. The need for such delay is to be assessed on a project-by-project basis.

b) If post weld heat treatment is performed, final NDT is normally to be carried out after all heat treating is completed.

B 2.1.4 All NDT is to be properly documented and identified in such a way that the tested areas may be easily retraced during fabrication and after completed installation of the structure. NDT documentation is to be made available to the third party surveyor.

B 2.2 ACCEPTANCE / REJECTION CRITERIA

B 2.2.1 The acceptance / rejection criteria for all structural welds except T K Y joints shall be in accordance with AWS D1.1 section 10.

B 2.2.2 The acceptance/rejection criteria for T K Y Joints shall be in accordance with either API RP2X para 3.3 or AWS D1.1 para 10.17.4. It is recommended that API RP2X Level C reject criteria or AWS D1.1 class X would be employed

B 2.3 N.D.T. PERSONNEL

B 2.3.1 Only qualified and certified N.D.T. personnel are to be employed to perform the required nondestructive testing. The certification programs is to be in accordance with the requirements of ASNT-TC-1A and documentary evidence of such certification shall be provided to the Third Party Surveyor.

B 2.3.2 N.D.T. personnel conducting the NDT required herein are to be independent of the fabricator (i.e. not fabricator's employees)

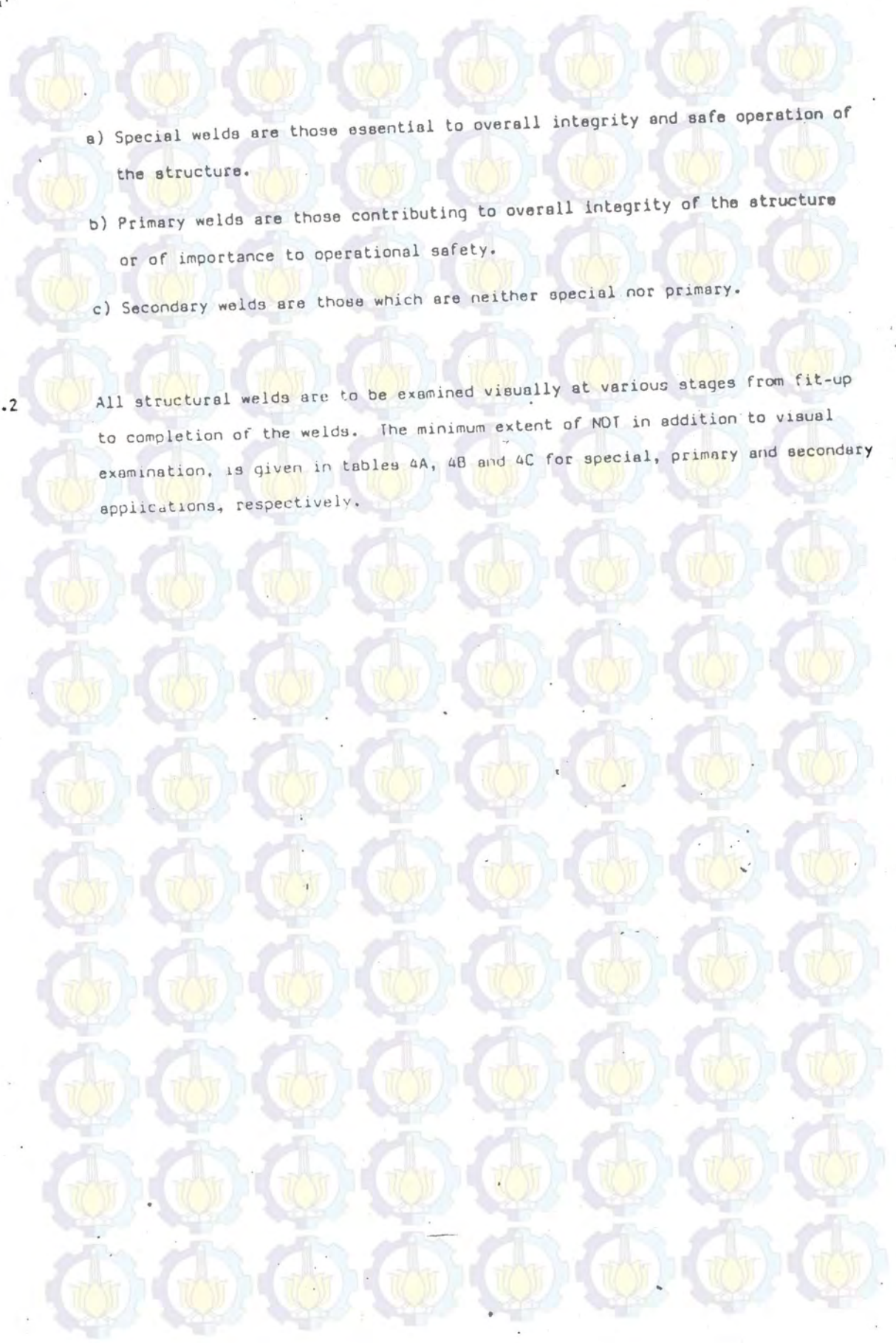
Independent inspection company may be employed either by the client or the fabricator. The certifying agency may require the owner to appoint another independent N.D.T. company when in doubt about the quality of inspection work.

B 2.3.3 Personnel conducting the UT of T-K-Y Joints required herein may be required to document their experience on T-K-Y testing or to demonstrate their abilities on a make-up Y-joint connection with built in defects, if required by the Third Party Surveyors.

B 2.4.0 EXTENT OF INSPECTION

B 2.4.1 NDT is particularly to cover welds in areas essential to the overall integrity and safe operation of the structure, areas experiencing high stress conditions and areas which will be inaccessible or difficult to inspect and repair in service.

Welds are to be considered as belonging to one of three classifications depending on the function and severity of service of the structure in which the welds are located. The three nominal designations of weld classification are special, primary and secondary.

- 
- a) Special welds are those essential to overall integrity and safe operation of the structure.
 - b) Primary welds are those contributing to overall integrity of the structure or of importance to operational safety.
 - c) Secondary welds are those which are neither special nor primary.

B 2.4.2

All structural welds are to be examined visually at various stages from fit-up to completion of the welds. The minimum extent of NDT in addition to visual examination, is given in tables 4A, 4B and 4C for special, primary and secondary applications, respectively.

- 8 2.4.3 NDT requirements for unusual structural configurations not adequately addressed by tables 4A - 4C shall be determined on a case-by-case basis.
- 8 2.4.4 Reference is made in tables 4A - 4C to particular NDT methods. Certain structural configurations may not allow for the use of the particular method or methods mentioned or the stated extent. In such cases an alternative method or combination of methods is to be used which will produce the best possible evaluation of weld integrity under the particular circumstances. The method is to be agreed to by the third party surveyor.
- 8 2.4.5 If NDT (including visual) reveals an excessive extent of unacceptable welding, the third party surveyor may require an increase in the extent of NDT testing or supplemental testing by alternative methods.
- 8 2.4.6 Unacceptable welds are to be repaired and retested
- 8 2.4.7 Each structural weld is to be identified as belonging to one and only one of the weld classification types set forth in tables 4A-4C. The percentages of NDT inspection stated in tables 4A-4C are intended to be interpreted as follows :
- a) Longitudinal seam welds : NDT of the stated percentage of weld length or 36 inches, whichever is greater. Testing is to be done at both ends of the Tubular with one-half of the required testing being done at each end. Testing indicated in tables 4A and 4B is to be carried out on each Tubular delivered to, or rolled at, the fabrication facility intended for the structural application referred to (e.g. if 40 tubulars are required for pile make-up, 10% (or 18 inches, whichever is greater of the length of the longitudinal seam at each end of the tubular is to be inspected by UT or RT).
- Inspection or Mill Certificates delivered with the material attesting to satisfactory performance of NDT to an extent equalling or exceeding that required in tables 4A and 4B may be accepted as meeting these requirements.

b) Girth welds (i.e. Butts and T-K-Y's) : NDT of the full weld length of the stated percentage of all distinct welds of the type referred to (e.g. assume there are 90 T-K-Y Joints in the jacket structure of which 50 are conductor guide frame welds and the remaining 40 are brace to brace or brace to leg welds, then :

- a) the complete circumference of 20 % of the 50, i.e. 10, conductor guide frame welds must be NDT inspected.
- b) the complete circumference of each of the 40 other T-K-Y joints is to be NDT inspected)

8 2.4.8 For primary and secondary weld applications requiring less than 100 % NDT, welds are to be selected for inspection in so far as possible, so as to give a representation of the quality of welds made by :

- a) The various welding processes
- b) The various welders, welding operators
- c) The various types of structural steels, and
- d) The areas of relatively high stress

9 2.4.9 Dye penetrant testing (PT) may be substituted for magnetic particle testing (MT) when approved in the NDT inspection plan. (see section 82.1.6)

SPECIAL STRUCTURAL WELDS

1) JACKET LEGS AND BRACES

- | | |
|------------------------------------|----------------|
| 1.1 Joint Can • longitudinal Seams | 100 % UT or RT |
| 1.2 Circumferential Butts | 100 % UT or RT |
| 1.3 T - K - Y Joints **/** | 100 % UT |
| 1.4 Joint Gusset Plate Fillets | 100 % M.T |

• Joint cans are considered to be special structural sections for tubular joints employing higher grade materials and/or greater wall thickness than in the adjacent structure, reflecting high stress or cyclic stress resistance requirements.

** See also table 48

*** Plus 100 % M.T for high strength and quenched and tempered steel and very highly stressed joints

2) PILES

- | | |
|-------------------------------|----------------|
| 2.1 Butts | 100 % UT or RT |
| 2.2 Jacket to pile Connection | 100 % M.T |

3) DECK LEGS AND COLUMNS

- | | |
|---|----------------|
| 3.1 Butts | 100 % UT or RT |
| 3.2 T-K-Y's (Girder to Tubular and Tubular to Tubular)* | 100 % UT |

• Deck girder to deck column welds may also require M.T. at Surveyors discretion in addition to UT or RT

4) MAJOR DECK GIRDER

- | | |
|---------------------------------------|----------------|
| 4.1 Butts + Splices | 100 % UT or RT |
| 4.2 Intersections of major girders • | 100 % UT or RT |
| 4.3 Intersections with Tubular braces | 100 % UT or RT |

• Major girders include the principal deck framing beams, skid beams, beams bearing major equipment or other concentrated loads, etc.

- 5) JACKET AND DECK LIFTING PAD EYES 100 % UT, plus 100% P.T.
- 6) CRANE PEDESTALS - MEMBERS FRAMING DIRECTLY INTO CRANE PEDESTAL TO BE INSPECTED 100% BY AN. APPROPRIATE METHOD
- 7) CANTILEVERED HELIDECK SUPPORTS MAJOR SUPPORT CONNECTIONS TO BE INSPECTED 100 % BY AN. APPROPRIATE METHOD

PRIMARY STRUCTURAL WELDS

8) JACKET LEGS AND BRACES

8.1 Longitudinal Seams ** 20 % UT or RT

8.2 Minor T-K-Ys

a) Welded Guide Frame Welds 20 % UT

b) Welded connections to jacket structure for following to be inspected 100 % by an appropriate method :

- Hydrocarbon riser submerged supports
(unless highly redundant)
- Skirt pile guides and supports
- Boat landing and barge bumper saddle plates
and T-Y joints
- Splash zone anode support connections

9) PILES

9.1 Longitudinal Seams ** 20 % UT or RT

10) DECK LEGS AND COLUMNS

10.1 Longitudinal Seams ** 20 % UT or RT

** Assumes automatic, double-sided welding of seams-additional inspection may be required for other welding processes at Surveyors direction.

11) DECK GIRDERS - (BUTTS, SPLICES, T-JOINTS AND CRUCIFORMS IN DECK BEAMS NOT COVERED IN TABLE 2A) 20 % by UT or RT

13) HELICOPTER DECK SUPPORTS AND TRUSSES 20 % by UT or RT

SECONDARY STRUCTURAL WELDS

13) Visual inspection plus random inspection (0 - 10 %) by appropriate methods at Surveyor's discretion for :

- a. Boat landings and brace bumper structure
- b. Anode supports (not in splash zone)
- c. Pilespacers
- d. Pump casings and supports
- e. Cable riser and reach rod supports
- f. Minor mud-mat supports or fastening guide
- g. Walkways, Stairways, Landings, Handrails
- h. Deck plating and grating
- i. Conductors butt welds

UT - Ultrasonic Testing

RT - Radiographic Testing

MT - Magnetic Particle Testing

PT - Dye Penetrant Inspection

Acceptance Limits for Weld Defects – Non-destructive Testing for Special and Primary steel Structures

Type of defect	Size limits	Note*)
INTERNAL DEFECTS:		
Porosity	<p><i>Scattered porosity:</i> Max. 1 percent by projected area. Largest pore dimension $t/8$, max. 2mm.</p> <p><i>Cluster porosity:</i> Max. 3 percent by projected area. Largest pore dimension $t/16$, max. 1mm.</p> <p>Porosity on line is not to penetrate the weld surface.</p>	1
Slag inclusions	<p><i>Isolated slag:</i> Length $\leq t/3$, width $\leq t/8$, max. 2mm.</p> <p><i>Slag lines:</i> Length $\leq 2 \cdot t$, max. 50mm, width $\leq 1,5\text{mm}$.</p> <p>The width of each of parallel slag lines (wagon track) is not to exceed 1mm.</p>	2, 3, 4
Lack of fusion or Incomplete penetration	<p>Length $\leq t$, max. 25mm</p> <p>If ultrasonics prove the defect not to exceed the reference curve, length $\leq 50\text{mm}$.</p>	2, 3, 4
Cracks	Not acceptable	5
SURFACE DEFECTS:		
Lack of fusion or Incomplete penetration	Not acceptable	
Undercut	Not acceptable	
Cracks	Not acceptable	5

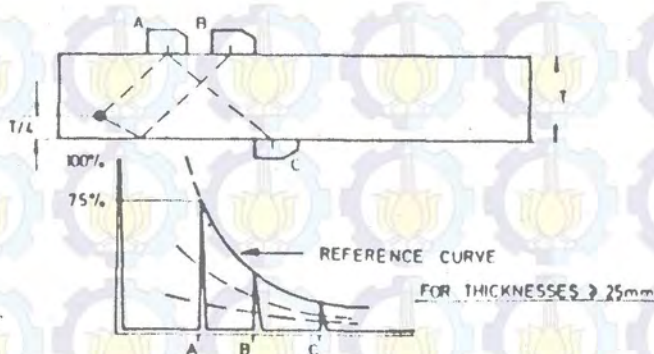
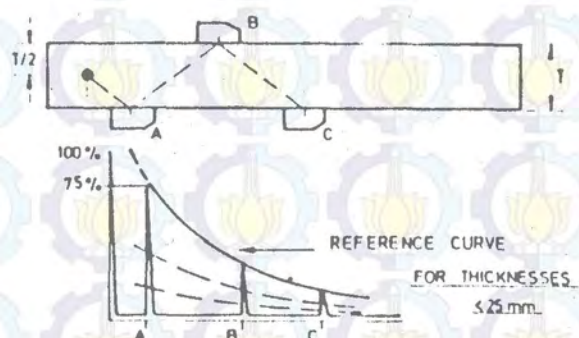
Type of defect	Size limits	Note
INTERNAL DEFECTS:		
Porosity	<p><i>Scattered porosity:</i> Max. 3 percent by projected area. Largest pore dimension $\leq t/4$, max. 4mm.</p> <p><i>Cluster porosity:</i> Max. 10 percent by projected area. Largest pore dimension $\leq t/8$, max. 2mm.</p> <p>Porosity on line is not to penetrate the weld surface.</p>	1
Slag inclusions	<p><i>Isolated slag:</i> Length $\leq t/2$, width $\leq t/4$, max. 4mm.</p> <p><i>Slag lines:</i> Length $\leq 4 \cdot t$, max. 100mm. Width ≤ 2mm.</p> <p>The width of each of parallel slag lines (wagon track) is not to exceed 1,5mm.</p>	2, 3, 4
Lack of fusion or Incomplete penetration	<p>Length $\leq 2 \cdot t$, max. 50mm.</p> <p>If ultrasonics proves the defect not to exceed the reference curve, length ≤ 100mm.</p>	2, 3, 4
Cracks	Not acceptable	5
SURFACE DEFECTS:		
Lack of fusion or Incomplete penetration	Length $\leq t/2$, max. 10mm	2, 3, 7
Undercut	Shallow undercut of max. 0,3mm depth may be accepted regardless of length provided it's shape and degree of notch effect is not considered detrimental by the Surveyor.	3, 6, 7
Cracks	Not acceptable	5

NOTES TO THE ACCEPTANCE LIMITS

- 1) See porosity chart Figure 6.8. When the extent of porosity or slag inclusions may mask for detection of other defects, supplementary radiographic or ultrasonic examination is required.
- 2) If elongated defects are situated on line and the distance between them is less than the length of the longest indication, the defects are to be evaluated as one continuous defect.
- 3) Any accumulations of slag inclusions, incomplete penetration, misalignment or undercut are to be judged as the most serious of the defects in question.
- 4) Not more than one time the defect limits as per notes 2 and 3 within any continuous length of weld which equals five times the length of the defected area.
- 5) Repeated occurrence of cracks should initiate more extensive non-destructive testing of the joints and revision of the welding procedure.
- 6) The depth is to be measured by mechanical means.
- 7) Severe corrosive environment may necessitate more stringent requirements.

Actual wall thickness t in mm	Thickness of ref. block T in mm	Position of drilled hole P in mm	Diameter of drilled hole D in mm
up to 25	20 or t	$T/2$	2,4
above 25 up to 50	38 or t	$T/4$	3,2
above 50 up to 100	75 or t	$T/4$	4,8

The hole diameter may be required reduced when groove geometry and/or welding process give reasons to expect special types of defects, giving small reflections.



Construction of reference curves

TOTAL

TEP/00

FABRICATION OF OFF-SHORE
STEEL STRUCTURES

SP - STR - 311

Page 68 de 95

Date: August 1982

9.3 - Extent of Non-Destructive Testing

- Welds shall be inspected non-destructively to the extent indicated in TABLE 9.1.

Unless otherwise agreed upon by the Company, the Certifying Authority and the Contractor, the percentages of weld inspections shall be understood as follows :

- For welds above 2 metre long, the percentages of welds to be inspected shall mean the thorough inspection of the stated percentage of all welded connections of a given type i.e. a 20 % check means inspection of 20 % of the length of each welded connection in the category concerned and not 100 % inspection of 20 % of the connections.
- On the contrary, for Welds not exceeding 2 metres in length, 100 % inspection is normally to be carried out on the stated percentage of the connections of the given type.

If partial checking of welds reveals that a particular weld appears defective the entire weld shall be examined and the partial checking of all other welds made by the same welder or procedure since the last partial check will be extended as specified below.

Initial Test	Retest Special Category	Retest 1st Category	Retest 2nd Category
Spot	100 %	20 %	10 %
5 %	100 %	20 %	10 %
10 %	100 %	50 %	20 %
20 %	100 %	100 %	50 %

If any of these welds are defective then the retesting is extended to 100 % whatever the member category. Consequently, the level of inspection of the future welds of this type may be increased at the discretion of the Inspector, until satisfactory results are obtained.

TOTAL TEP/00	FABRICATION OF OFF-SHORE STEEL STRUCTURES	SP - STR - 311	
		Page	.69 de 95
		Date:	August 1982

- As a general rule, initial inspection should be 100 % until a satisfactory level of quality has been verified.
- Non-Destructive Testing (N.D.T.) shall be carried out especially on intersection of butt welds, cruciform joints, as well as on start and stop points of automatically welded seams.
- Areas which have been strained in the through thickness direction by welding will be ultrasonically tested for lamellar tearing.
- The Inspector and/or Certifying Authority shall have the right to select the welds or part of the welds to be inspected.
- When Gas Metal Arc Welding (G.M.A.W.) is used, Ultrasonic and Magnetic Particle testing may be required by Inspector on a spot basis in addition to Radiographic Testing.
- If difficulty is experienced in categorising defects revealed by ultrasonic testing, radiography shall also be used to facilitate interpretation, or vice versa. At the discretion of the Inspector supplementary radiography, or substitution of radiography in lieu of ultrasonic testing, shall be used to confirm the ability of ultrasonic testing to detect and evaluate correctly defects such as root concavity and linear porosity and other root defects in single sided groove welds.

When either radiography or ultrasonic testing are used as a check or a substitution for the other technique, the acceptance criteria applied shall be as defined for the actual technique used, unless the Inspector requires otherwise.

9.4 - Standards of Acceptance

- Standards of acceptance of welds in Structural Steels shall comply with the limitations on defects defined in TABLE 9.2 of this specification. However, an exception is made where the ANSI/AWS D1.1 method for U.T. is used (see § 9.2.2 of this specification) for which the standards of acceptance for internal defects shall comply with limitations as set forth in Section 9 of this Code.
- The standards of acceptance as above shall be used for the visual and Non-Destructive Testing of Welding Procedure Qualification test welds, Welder Qualification test welds and production welds.
- Standards of acceptance of welds in Non-Structural Steels shall be as per standards of good practice or requirements of the Particular Specification.
- The dimensional limitations of imperfections subject to rejection specified in this paragraph are intended to ensure good quality welding. The effect of weld defects on the service performance of a weld are influenced by their location and disposition, those located in the body of the weld being in general less serious than those in the surface. This should be taken into account when considering the rejection of defects that appear to be border-line in quality as assessed by the limitations of defects specified in this paragraph.

TOTAL

TEP/00

FABRICATION OF OFF-SHORE
STEEL STRUCTURES

SP - STR - 311

Page 70 de 95

Date : August 1982

- The Inspector and the Certifying Authority shall be the sole judges as to the acceptability of welds and their decisions are final.

9.5 - Test Reports

A report of the testing technique and results of each weld inspection shall be made by the Contractor.

The report shall indicate whether the weld meets the standards of acceptance of para. 9.4 of this specification and the number of repairs made to meet these requirements.

Reports of all inspections shall be made available to the Inspector and the Certifying Authority not more than 24 hours following completion of the test.

These documents shall be jointly signed by the Contractor, the Inspector and the Certifying Authority.

The Company shall be provided with these documents when the work is completed.

9.6 - Weld Log

The Contractor shall keep up-to date a Weld-Log which shall record the progress of welding and weld inspection. This document shall include but not be limited to :

- Identification of each weld and relevant member,
- Welding procedure used,
- Symbol of welder involved in each weld,
- Date each weld was made,
- Welding inspection results, date of inspection and Inspector name,
- Welds repaired, defects noted and date of repairs.

The Contractor shall furnish to Company, upon completion of fabrication, the Weld-Log together with test reports as above.

TOTAL

TEP/00

FABRICATION OF OFF-SHORE
STEEL STRUCTURES

SP - STR - 311

Page 71 de 95

Date : August 1982

TABLE 9.1 : Minimum extent of Non-Destructive Testing (N.D.T.)

Steel Type and Member Classification (1)	Type of Connection	Visual Inspection	Radiography (8)	Ultrasonics (7)	Magnetic Particle (3)
Structural Special Category	Butt Welds (13)	100 %	100 % (10)	-	20 % (4) 100 % (5)
	T-Joints (2)		-	100 %	20 % (4) 100 % (5)
	Fillet Welds		-	-	100 %
First Category	Butt Welds (13)	100 %	10 % 100 % (9)	-	20 % (5)
	T-Joints (2)		-	20 %	20 % (5)
	Fillet Welds		-	-	20 % (5)
Second Category	Butt Welds (13)	100 %	5 %	-	5 % (5)
	T-Joints (2)		-	Spot (6)	5 % (5)
	Fillet Welds		-	-	5 % (5)
Non-Structural	All Welds	100 %	(11)	-	(12)

NOTES :

- (1) Classification of members is defined in para. 4.1 of this specification.
- (2) Applies to all welds other than Butt Welds (such as T or Y-joints, tubular joints) having full penetration, or partial penetration with weld metal cross-section exceeding 12.7 mm (1/2").

TOTAL

TEP/00

FABRICATION OF OFF-SHORE
STEEL STRUCTURES

SP - STR - 311

Page 72 de 95

Date: August 1982

- (3) Magnetic Particle Testing may be replaced by Liquid Penetrant Testing with prior approval of Inspector.
- (4) Applies to welds performed on Low and Medium Strength Steels (i.e. $YS \leq 295$ MPa) and subject to static load only.
- (5) Applies to welds subject to dynamic load or welds performed on High Strength Steels (i.e. $YS > 295$ MPa).
- (6) "Spot" means 0 to 5 % at the Inspector's discretion.
- (7) Ultrasonic Testing applies when material thickness is more than 12.7 mm (1/2"). Ultrasonics may be replaced by radiography where wall thickness is less than or equal to 40 mm.
- (8) Radiography is normally replaced by ultrasonics for thicknesses > 40 mm. Radiography applies by priority to intersections of butt welds and to start and stop points of automatically welded seams (see para. 9.3).
- (9) 100 % extent for radiography ($WT \leq 40$ mm) or ultrasonics ($WT > 40$ mm) of :
 - flanges of beams and columns.
 - circular welds of tubulars.
- (10) Butt welds on materials which comply with the following conditions all together may be required by the Inspector to be inspected 90 % radiography + 10 % ultrasonics (Instead of 100 % radiography) :
 - Specified $YS > 295$ MPa (42,800 psi),
 - I.I.W. Carbon Equivalent > 0.41 % (ladle),
 - Wall Thickness > 25.4 mm (1").
- (11) Extent of radiography (when necessary) as stated in the Particular Specification.
- (12) Magnetic Particle to 100 % extent only when welding on semi-hard or hard steels and alloy steels liable to quenching under welding operation (for instance welding of bearing plates). Purpose of inspection mainly to ensure freedom of cracks, excessive undercuts or other injurious notch defects.
- (13) Extent of NDT on Butt welds of prefabricated tubulars shall be as indicated in para. 6.5.5 of this specification.

TOTAL

TEP/00

FABRICATION OF OFF-SHORE
STEEL STRUCTURES

SP - STR - 311

Page 73 de 95

Date: August 1982

TABLE 9.2 : Standards of acceptance for weld defects in structural steelsINTERNAL DEFECTS

Member Category Type of defect	Special and 1st Category	2nd Category	Note
Cracks	Not acceptable	Not acceptable	(1)
Lack of fusion or Incomplete penetration	<ul style="list-style-type: none"> Length $\leq t$, max. 20 mm Max. length extended to 40 mm at U.T. (ASME method) when defect echo not exceeding the reference curve 	<ul style="list-style-type: none"> Length $\leq 2t$, max. 50 mm Max. length extended to 100 mm at U.T. (ASME method) when defect echo not exceeding the reference curve 	(2) (3) (4)
Slag Inclusions	<ul style="list-style-type: none"> Isolated slag : Length $\leq \frac{t}{3}$ width $\leq \frac{t}{8}$, max. 2 mm Elongated slag : Length $\leq 2t$, max. 50 mm Width ≤ 1.5 mm Waggon tracks : width of each of parallel slag lines not to exceed 1 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Isolated slag : Length $\leq \frac{t}{2}$ width $\leq \frac{t}{4}$, max. 3 mm Elongated slag : Length $\leq 4t$, max. 100 mm Width ≤ 2 mm Waggon tracks : width of each of parallel slag lines not to exceed 1.5 mm 	(2) (3)
Porosity	<ul style="list-style-type: none"> Isolated porosity : max. 1 percent by projected area. Largest pore dimension $t/8$, max. 2 mm Cluster porosity : Max. 3 percent by projected area. Largest pore dimension $t/16$, max. 1 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Isolated porosity : Max. 3 percent by projected area. Largest pore dimension $t/4$, max. 3 mm Cluster porosity : Max. 10 percent by projected area. Largest pore dimension $t/8$, max. 2 mm 	

TOTAL
TEP/00

FABRICATION OF OFF-SHORE
STEEL STRUCTURES

SP - STR - 311

Page 74 de 95

Date: August 1982

TABLE 9.2 : Standards of acceptance for weld defects in structural steels
(continuation)

SURFACE DEFECTS

Member Category Type of defect	Special and 1st Category	2nd Category	Note
Cracks	Not acceptable	Not acceptable	(1)
Undercut	• Static load : Depth \leq 0.4 mm, Length \leq 5 mm • Dynamic load : Not acceptable	Depth \leq 0.3 mm, Length unlimited or Depth \leq 0.8 mm, Length \leq 50 mm	(2) (3)
Lack of fusion or Incomplete penetration	Not acceptable	Length \leq t/2, max. 10 mm	(2) (3)

NOTES :

- (1) Any form of crack or suspected crack shall be considered unacceptable regardless of its size or location.

Occurrence of cracks will initiate more extensive N.D.T. and revision of the welding procedure.

- (2) If elongated defects are situated on line and the distance between them is less than the length of the longest indication, the defects are to be evaluated as one continuous defect.

- (3) Summation of Imperfections : any accumulation of lack of fusion, incomplete penetration, undercuts and slag inclusions shall not exceed 50 mm in Special and 1st category member and 100 mm in 2nd category member in any 300 mm of continuous weld.

- (4) Lack of fusion or incomplete penetration are not acceptable for welds in pad-eyes or components subject to concentrated lifting loads (hooking parts of lifting devices and accessories).



INSTITUT TECHNOLOGIQUE
SUPÉRIEUR - INDUPAR